

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА И ГЕОЛОГИИ
ГОРНЫЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА СТРОИТЕЛЬСТВА ЗДАНИЙ, ПОДЗЕМНЫХ
СООРУЖЕНИЙ И ГЕОМЕХАНИКИ**

Конспект лекций по дисциплине
Б1.В15"Строительство горных выработок в особо сложных условиях"

Специальность Специализация:	21.05.04. «Горное дело» Шахтное и подземное строительство
---------------------------------	--

УТВЕРЖДЕНО
на заседании кафедры
«Строительство зданий, подземных
сооружений и геомеханика»
Протокол № 9 от 22.02.2017 г.

Донецк – 2017

УДК 622.272.6(076)

ББК 33.141я73

М54

Составитель:

Формос Валерий Федорович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительство зданий, подземных сооружений и геомеханика»

Конспект лекций по дисциплине «Б1. В15 Строительство горных выработок в особо сложных условиях

[Электронный ресурс] : для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело» специализации «Шахтное и подземное строительство» всех форм обучения / ГОУВПО «ДОННТУ», каф. стр-ва зданий, подземных сооружений и геомеханики; сост. В. Ф. Формос. – Электрон. дан. (1 файл: 4,3 Мб). – Донецк : ДОННТУ, 2017. – Систем. требования: Acrobat Reader.

Конспект лекций содержит теоретически материал согласно требованиям образовательно-профессиональной программы подготовки специалистов 21.05.04 «Горное дело».

Предназначен для студентов высших учебных заведений всех форм обучения специальности 21.05.04 «Горное дело» специализации «Шахтное и подземное строительство».

Тема 1. Содержание курса. Общая характеристика выбросов угля, породы и газа угольных месторождений мира. Выбросы как форма проявления горного давления. Горно-геологические условия проявления выбросов.

Литература к теме 1: [1]

Силовое поле, прикладываемое к жидкости или газу, называется давлением, прикладываемое к твердому телу оно называется напряженным состоянием (state of stress). Давление в точках жидкости или газа всегда одинаково и равномерно распределено в каждом направлении (т.е. оно гидростатично). Но напряжение в твердом теле, в частности, породных массах, варьируется в зависимости от направления, т.е. является так называемой тензорной величиной.

Важно понять различие между первичными напряжениями, существующими до начала горных работ, напряжениями, индуцированными горными работами. В первом случае напряжения, которые существуют в породах, относятся к природным (virgin) или напряжениям в массиве (in-situ). Для аналитических целей их вертикальные и горизонтальные компоненты рассматриваются раздельно. Вертикальные напряжения рассчитываются средствами теории упругости для каждой конкретной глубины залегания пород. В твердых породах вертикальные напряжения обычно являются прямолинейной функцией веса породной колонны над рассматриваемой подземной полостью. Так, средний градиент вертикальных напряжений (прирост на 1 м глубины) для пород типа кварцитов или полевого шпата равен 0,026 МПа/м. В литературе вертикальные напряжения могут называться гравитационными, литологическими или напряжениями от веса покрывающих пород.

Определение природных горизонтальных напряжений более сложно. Так, в Северной Америке (США и Канаде) горизонтальные напряжения обычно выше, чем они прогнозируются традиционным анализом упругости, не одинаковы в разных направлениях и специфичны для каждого места анализа. Как правило, считается, что горизонтальное напряжение максимально в одном направлении и уменьшается до минимума в направлении, перпендикулярном максимальному.

Средний градиент горизонтальных напряжений специфичен для конкретного географического района. Так, для Канадского геологического щита этот градиент определяется раздельно для глубины менее и более 900 м, для глубины 0-900 м он рассчитывается по формуле:

$$\text{средний градиент} = 9,86 \text{ МПа} + 0,0371 \text{ МПа}\backslash\text{м},$$

а для глубины 900-2200 м по формуле:

средний градиент = 33,41 МПа + 0,011 МПа\м.

Интенсивность и ориентация природных напряжений могут значительно измениться, когда шахта или место строительства подземной структуры находится возле крупного геологического нарушения.

Примером может служить шахта Laky Friday, Idaho, США, расположенная возле нарушения Osborn, сброс которого прослеживается на расстоянии 24 км. Здесь природные напряжения классифицируются, как тектонические, и часть их, сохранившаяся после разгрузки природными силами, называется остаточным напряжением.

Напряжения, индуцированные горными работами, имеют два различных вида. Первое из них – статическое, подобное природным напряжениям массива, является относительно стационарным. Второе – динамическое - перемещается через породы со скоростью звука. Динамическое напряжение обычно обозначается, как сейсмическое.

При экскавационных работах напряжения в породах, окружающих полость, увеличиваются. Это увеличение называется индуцированным напряжением. Оно может быть продемонстрировано на примере строительства вертикального ствола в поле горизонтальных напряжений. Согласно анализу упругости, периферические напряжения на окружности ствола равны двойному горизонтальному напряжению, которое существовало до начала строительства.

Магнитуа дополнительного индуцированного напряжения Q_i на окружности ствола и на любом от него расстоянии в породах может быть рассчитана по простой формуле:

$$Q_i = Q \left[\frac{r^r}{(r + y)^2} \right],$$

где Q – начальное напряжение;

r – радиус ствола;

y – расстояние от породной стены ствола.

Образование полостей в напряженных породах перераспределяет существующие природные напряжения и создает высокие вторичные (индуцированные), которые возникают в окрестностях экскавации. Магнитуды этих вторичных напряжений могут быть близки к прочности нетронутых пород. В таких условиях возможно разрушение пород (расслоение, падение фрагментов, внезапные выбросы).

Отношение «напряжение/прочность», одно из наиболее значимых для механического состояния пород, позволяет определить, когда запланиро-

ванное подземное строительство будет происходить в высоконапряженной среде. Состояние напряжений и предельная прочность пород определяются различными геологическими факторами такими, как виды пород или их неоднородности – нарушения, изверженные вторжения, плоскости напластования. Насколько сильно напряжения в массиве воздействуют на экскавацию, зависит также от размеров и направления (ориентации) подземной полости, например, туннеля.

Шум пород, их расслоение, развитие трещиноватости, внезапное отторжение фрагментов – типичные явления, которые могут происходить в твердых, хрупких кристаллических породах в окрестностях полостей, подвешенных высоким напряжением. Эти виды пород, например, гнейсы и граниты, сохраняют большое количество энергии напряжений, которая вызывает их разрушение подобное взрыву с осколками, отлетающими от забоя или стен экскавации. Показатель существовавших высоких напряжений или низкой прочности пород – образование дисков в породных кернах, получаемых при бурении разведочных скважин, когда образец керна разбивается на слои из-за высоких напряжений, ориентированных перпендикулярно оси скважины.

В зоне высоких природных напряжений тангенциальные (касательные) напряжения вокруг экскавации могут быть близки к прочности пород или превышать ее. В этом случае происходит разрушение пород с интенсивностью, зависящей от сейсмической энергии, хранящейся в окружающем массиве, и количество которых определяется локальной геологией, дизайном полости, физическими особенностями породных масс. Перераспределение напряжений в окрестностях полости происходит немедленно после экскавации, процесс разрушения продолжается затем в течение нескольких часов или дней.

Когда тангенциальные напряжения превышают прочность природно трещиноватых пород, начинается развитие микротрещин, которое происходит перпендикулярно поверхности строящейся структуры к направлению тангенциальных напряжений. Зона микротрещин может варьироваться от нескольких сантиметров до нескольких метров в зависимости от магнитуды напряжений в массиве, дизайна полости, прочности породы и метода экскавации.

Шум пород – первый сигнал перераспределения напряжений и развитая микротрещиноватость вокруг экскавации, который может наблюдаться специально установленной регистрирующей системой. При режиме высоких напряжений в твердых и хрупких породах часто издается сильный звук, уровень которого зависит от энергии, хранимой в массиве.

Когда породы вокруг экскавации разрушаются высоким тангенциальным сжимающим напряжением происходит их расслоение, которое выра-

жается в образовании тонких плит, параллельных поверхности полости.

Если зоны микротрещин, вызванные тангенциальными сжимающими напряжениями, становятся достаточно большими по сравнению с толщиной породных слоев, последние приобретают тенденцию к прогибу или отторжению. Это создает новую, свежую поверхность породного массива и процесс повторяется, выражаясь в форме внезапного выброса. Его типичной особенностью является насильственный интенсивный характер, а результатом - соответствующий ущерб полости и ее внешний вид. Внезапный выброс создает проблемы безопасности в ходе работ, и наносит повреждения подземным структурам.

Сейсмические события, вызываемые горными работами, обычно связывают с нарушениями, которые почти всегда обнажаются в подземных полостях. Перемещения пород по нарушениям обычно невелики и часто их даже невозможно ощутить, но факт, что нарушения влияют на появление повреждений, обычно очевиден, поскольку последние бывают локализованы именно в местах обнажения нарушений.

На стадии дизайна функциональное назначение строящейся полости определяет ее размеры, форму и ориентацию, но условия строительства организуют возможности дизайна. Превышения прочности пород возникающими напряжениями до начала строительства трудно оценить. Даже большинство самых современных компьютерных программ не может в полном объеме прогнозировать общую стабильность пород вокруг зоны экскавации, находящейся в поле высоких напряжений. В сложном геологическом окружении разных видов пород и неоднородностей должны быть тщательно выбраны элементы дизайна и их правильные параметры.

Когда подземная полость находится в зоне напряжений массива, практическое правило механики горных пород говорит о том, что эта полость (туннель) должна быть ориентирована параллельно направлению максимальных главных напряжений, поскольку в этом случае на контур сечения полости действуют максимальные главные напряжения. Полости, по возможности, должны располагаться перпендикулярно неоднородностям массива, сочленениям породных блоков и нарушениям.

Ослабленные породные массы вокруг полости поддерживаются крепью, цель планирования которой – создание адекватного противостояния тангенциальным сжимающим напряжениям и предотвращение дальнейшего ослабления пород. В окрестностях режима высоких напряжений, где имеется риск разрушения пород, система крепи должна выполнять две функции:

- усиление расчлененных пород формированием породной арки, воспринимающей индуцированные напряжения, минимизируя ослабленность породных масс;

- удержание разрушенных пород, скрепляя их и привязывая к

массиву.

Дизайн крепи определяется сроком службы полости, размерами пролетов, магнитудой и направлениями напряжений, геологией окружающих пород. В условиях опасности высоких динамических нагрузок, вызванных потенциальной сейсмичностью массива, особое значение приобретают характеристики податливости крепи, позволяющей абсорбировать энергию, выделяющуюся во время внезапного выброса пород.

При планировании подземных работ должно учитываться влияние экскавации на окружающие породы. Количество и тип взрывчатых материалов, расположение скважин, очередность их взрывания определяют воздействие на массив, вызванное взрывом. С этой точки зрения применение буровых туннельных машин улучшает геотехническую обстановку вокруг туннеля, а их новые конструктивные решения позволяют снизить тенденцию разрушения породных слоев, граничащих с зоной экскавации. Примером таких решений служит конструкция режущей головки, атакующей породу в забое сбоку, поперек забоя, в отличие от стандартного решения прямой атаки резцов, подаваемых вперед на забой вместе с корпусом машины.

Такое систематическое перераспределение напряжений приводит к микросейсмичности в породных массах, которая рассеивает энергию и дает акустическую информацию о состоянии массива.

Микросейсмическая система мониторинга регистрирует места и время событий. Важно также иметь эту информацию немедленно. Операторы шахт Северной Америки обычно обязаны эвакуировать персонал при таких событиях, как ожидаемые внезапные выбросы пород, которые являются проявлениями сейсмической активности. Знание места их возникновения, а также наличие средств экстренной связи с персоналом, дают возможность спасти жизнь и сэкономить миллионы долларов.

Еще одним полезным микросейсмическим параметром служит магнитуда события, что позволяет статистически понять и оценить природу сейсмической активности, а также прогнозировать, как часто такие события могут произойти.

Внезапные выбросы пород пока непредсказуемы, несмотря на многие годы усилий и исследований явлений, предвещающих выброс. Невозможным остается также предсказание землетрясений, хотя сейсмологи занимаются этим намного дольше с гораздо большим объемом средств, потраченных на исследования.

Многие выбросы случаются во время продуктивного (производственного) взрывания. Это особенно относится к взрывам, выполняемым централизованно в пространстве и сосредоточенно во времени. Так, в канадских шахтах обычно планируют большие продуктивные взрывы на последнюю смену в сутки перед выходным днем, что дает достаточное время для

провоцирования внезапного выброса и стабилизации последствий сейсмической активности. Рассредоточение взрывов во времени не делает их спусковым механизмом потенциальных выбросов.

Чем сильнее выброс, тем более редко он происходит. Микросейсмические данные многих районов показывают, что незначительные сейсмические события имеют тенденцию сосредотачиваться во время взрывных работ или сразу после них, тогда как большие события происходят редко и неожиданно.

Следует при этом отметить принципиальное отличие объема пород, отторгнутых внезапным выбросом от объема их обычного обрушения (падения), вызванного силой тяжести и нарушениями природных связей между фрагментами. При одной и той же вероятности возникновения показатели обрушения существенно превышают объем пород отторгнутых выбросом.

Тема 2. Природа и механизм выбросов угля, породы и газа. Существующие гипотезы проявления выбросов. Газовая теория Ходота В.Н. Преимущества, недостатки этой теории. Энергетическая теория Большинского М.И. Недостатки и преимущества ее. Теория перераспределения напряжений в горном массиве. Преимущества и недостатки этой теории.

Литература к теме 2: [1]

Внезапные выбросы пород – это неожиданное и мгновенное отторжение породных фрагментов от контура подземной полости, происходящее в высоко напряженном массиве. Такие отторжения повреждают полости, а из-за большой скорости разлетающиеся фрагменты приводят к травматизму и даже смертельным случаям персонала, ущербу оборудования и подземного хозяйства предприятия.

Сегодня термином «внезапный выброс» обычно определяется сейсмическое событие, при котором в подземной полости обрушается более 5 т пород. События меньшего масштаба относятся просто к «шуму».

Внезапные выбросы вызываются высокими напряжениями в твердых породах. Последние описываются в литературе как «кристаллические» или «упругие», т.е. противоположные «пластическим» породам, которые имеет скорее тенденцию сжиматься («ползти»), чем внезапно отторгаться. Когда напряжения достигают предела текучести, твердые породы могут быть описаны, как «хрупкие» или «жесткие».

Далее приводятся объяснения причин внезапных выбросов, предложенные разными авторами, имеющими многолетний опыт исследования этих явлений:

- все породы на глубине находятся в состоянии сжатия и ожидают возможности расширяться. Давления, встречаемые в ходе горных работ, так велики, что замкнутая в породах потенциальная энергия огромна. Порода,

внезапно высвобождающаяся от напряжений, расщепляется и это делает ее обрушение взрывоподобным и ответственным за термин «внезапный выброс»;

- хрупкое разрушение происходит, когда способность породы противостоять нагрузке уменьшается с увеличением деформации. Часто хрупкое разрушение связано с малой деформацией или ее отсутствием перед разрушением и, в зависимости от условий, может произойти внезапно и катастрофически. Внезапные выбросы в шахтах с твердыми породами дают наглядную иллюстрацию явления взрыва хрупкой трещиноватости;

- значительные сейсмические события, имеющие вид внезапных выбросов пород, связаны с главными геологическими структурами такими, как нарушения или изверженные вторжения, геологические контакты (плоскости напластования пород) и др.;

- поверхности таких неоднородных структур имеют шероховатости и включения, препятствующие их скольжению, и сохраняют большое количество энергии. Скольжение происходит, когда либо движущие силы превосходят силу сопротивления (трения) геологической структуры, либо нормальное сжимающее давление уменьшено или вообще удалено.

Эти классические описания причин внезапных выбросов, однако, не объясняют следующих фактов:

- выбросы происходят также, когда уровень напряжений существенно ниже предела прочности пород;

- выбросы происходят в шахтах, где качество пород далеко от хрупкости;

- наличие геологических неоднородностей не служит обязательным условием возникновения внезапных выбросов.

Современная сейсмология пытается разрешить перечисленные несоответствия общепринятой теории. Правдоподобное решение лежит в науке сопротивления материалов, где объясняется, что тонкая колонна, плита или оболочка могут разрушиться в результате прогиба задолго до того, как достигается предел упругости (yield stress). Это явление не определяется хрупкостью материала, оно происходит и в податливой стали. Местный прогиб (local buckling) – термин, используемый, если элемент структуры разрушается подобным образом. Когда значительная доля общей структуры разрушается мгновенно и катастрофически, применяется термин «общая нестабильность» (general instability). Разрушение такого вида характеризуется резким и насильственным обрушением, сопровождаемым мгновенным высвобождением энергии, одним из компонентов которой является громкий звук. Фактическое значение напряжения, вызывающего обрушение, предсказать невозможно. Единственно, что может быть определено и используется, как критерий безопасного дизайна, – минимальный уровень напряжений, при котором

разрушение структуры может произойти.

Обычно внезапные выбросы происходят в глубоких шахтах, однако, они могут случиться и на подземных работах малой глубины. Отмечены, например, выбросы в строящихся туннелях под Нью-Йорком на глубине до 300 м.

Когда главные условия выброса созданы, требуется механизм, необходимый для его проявления – раскрытие трещин, первоначально направленных в соответствии с основными напряжениями. При наличии открытых поверхностей (стен подземной полости) трещины распространяются параллельно этим поверхностям, а после достижения определенной длины растут нестабильно. Это может привести к отделению слоев породы от массива. Сама по себе одиночная трещина, вероятно, не станет ответственной за обрушение, но из-за роста трещин их взаимодействие может привести к достижению породой уровня нестабильности и аварии.

С энергетической точки зрения при подземной экскавации в ее окрестности происходят существенные изменения в энергии деформации массива. Потенциальная энергия породы, извлеченной при экскавации и поднятой на поверхность, увеличивается пропорционально ее массе, гравитационному ускорению свободного падения и глубине, с которой порода поднята.

Наоборот, потенциальная энергия оставшихся нетронутыми пород вокруг зоны экскавации уменьшается за счет снижения природных сил сцепления, которые существовали в зоне экскавации перед тем, как часть породного массива была отделена. Если дальняя зона напряжений остается при этом постоянной и порода ведет себя упруго, а перемещения поверхности полости неочевидны, часть уменьшенной потенциальной энергии пород вокруг зоны экскавации сохраняется, как концентрация упругой энергии деформаций в породах этой зоны. Остальная часть потенциальной энергии рассеивается или высвобождается. Если породы ведут себя неупруго или полость экскавации смыкается, в качестве упругой сохраняется меньшая часть потенциальной энергии деформаций, а остальная (большая часть потенциальной энергии) рассеивается или высвобождается.

Одно из объяснений происхождения внезапных выбросов пород заключается в том, что они являются нестабильными формами высвобождения потенциальной энергии пород вокруг зоны экскавации. Другое объяснение предполагает, что изменения, индуцированные горными работами, служат только триггером (спусковым механизмом) остаточных сейсмических событий, вызываемых, главным образом, энергией напряжений, причиной которых являются геологические различия в состоянии породного массива. Оба эти объяснения могут быть правильными.

Первые сведения о внезапных выбросах пород появились в конце 19 века, когда в шахте Kolar Gold Field, Misor, Индия горные работы по добыче

золота велись на глубине 500 м. Несколькими годами позднее эта же проблема возникла в шахтах района Witwatersand, Южная Африка. В Китае выбросы были отмечены в 1933 г., а с 1949 г. там произошло более 2000 таких событий.

В США первые выбросы случились в шахте Atlantic, Michigan в 1904 г., а наибольшая сейсмическая активность наблюдается в районе Coeur d'Alene, Idaho, где внезапные выбросы пород происходят, начиная с 1930 г. В период с 1986 г. по 1990 г. внезапные выбросы стали причиной 23 несчастных и 6 смертельных случаев. Оцениваемая стоимость ликвидации последствий выбросов находится в пределах 8-18% от общей стоимости добычи. В главе 5 описана работа шахт этого района.

Сейсмической опасностью характеризуется также северная часть Канады. Так, в провинции Ontario за период с 1984 г. по 1987 г. зарегистрированы 46 малых землетрясений с магнитудой до 3,6 по Рихтеру. Здесь за то же время произошло более 250 внезапных выбросов пород, из которых 6 находилось в интервале магнитуд от 3,4 до 4. В 1958 г. В результате крупного внезапного выброса была потеряна шахта Cumberland № 7 в провинции Nova Scotia, когда погибли 75 человек. Событие 1984 г., которое стало причиной гибели 4 человек, привело к закрытию шахты Falconbridge, Sudbury. Сейсмическая активность является особой заботой в шахтах, добывающих поташ в районе Saskatchewan в медных шахтах New Brunswick.

Наибольший выброс в Северной Америке привел к обрушению сододобывающей шахты Solvay Trona, Wyoming, США 3 февраля 1995 г., который сопровождался оседанием поверхности в среднем на 0,5-1,0 м, распространившемся на площади от двух до нескольких десятков квадратных километров.

В Индии тяжелые выбросы пород продолжались при углублении горных работ в крутопадающих шахтах района Kolar и причинили повреждения их инфраструктуре – стволам, транспортным выработкам и добычным уступам. Результатом выбросов были многочисленные смертельные случаи и большой стоимостной ущерб.

В Австралии с внезапными выбросами встречаются в районе Kalgoorlie с ранних лет 20 столетия. С 1970 г. сейсмическая сеть в шахте Mount Charlotte показала около 20 сейсмических событий с магнитудой от 2,0 до 4,3. Однако, до середины 1990-х гг. проблемы, связанные с сейсмичностью и выбросами здесь не воспринимались, как достаточно серьезные. С этого времени усовершенствованные системы мониторинга были установлены в нескольких шахтах района Yilgarn Block западной Австралии, шахтах Mount Isa, Broken Hill и Northparker в восточной Австралии.

В Южной Америке внезапные выбросы стали очевидны, как серьезная проблема в течение последних 20 лет, например, в крупнейшей медной

шахте El Teniente, Чили, которая главную добычу стала получать из зон твердых пород рудного тела.

Из всех горнодобывающих стран ни одна не сталкивается с проблемой внезапных выбросов пород так часто, как Южная Африка в своих золотодобывающих шахтах, и ни в одной из них не возникает таких же тяжелых последствий. Здесь при пике продукции в 1970 г. добывалась 1000 т золота общими усилиями 416000 трудящихся. В течение года отрабатывалась общая площадь 28 км² залежей на средней глубине 2000 м. Двадцать лет назад общая добыча составила 620 т золота в год, что потребовало участия 477000 человек. В этот период в течение года во внезапных выбросах было потеряно 129 жизней со средним показателем 0,27 на 1000 чел. персонала.

Данные за 2003 г. показали, что при добыче 311 т золота и занятости 183000 чел. в результате внезапных выбросов пород погибли 37 рабочих со средним показателем 0,2 на 1000 чел. Из этих цифр видно, что имеется некоторое улучшение обстановки, несмотря на неизбежную тенденцию увеличения трудностей добычи с ростом глубины работ.

Особенностью золотодобывающей индустрии Южной Африки является разработка на большом простирании одного и того же рудного тела несколькими смежными шахтами. Отсюда следует, что одновременному воздействию подвергается очень большая площадь земной коры. При этом большие нарушения с длиной до десятков километров иногда активизируются с проскальзыванием по ним массива на несколько сот миллиметров, чем создаются сейсмические события с величиной магнитуды до 5,1, которые служат причиной повреждений не только подземных полостей, но и строений на поверхности.

Период около столетия, который прошел со времени появления первых выбросов на шахтах Южной Африки, может быть разделен на два этапа. В первом из них, который закончился в конце 1940-х гг. руководство шахт полагалось, главным образом, на традиционный инженерный подход: наблюдения, опыт и осмысливания, вслед за чем предпринимались практические попытки. Одним из наиболее важных было предложение о применении длиннозабойной системы разработки, которая, однако, была широко распространена только спустя много лет.

К ранним 1950-м гг. становится все более очевидным, что чисто практические старания решить проблему выбросов оказались неэффективными. Предложенные решения были всегда предметом компромисса и даже противоречили друг другу. Например, методы управления горным давлением, предназначенные минимизировать внезапные выбросы, ранжировались от закладки выработанного пространства с максимально возможной плотностью до полного обрушения кровли. Отсюда видно, что потребовалось новое качественное и количественное понимание проблемы, которое привело к началу

этапа борьбы с внезапными выбросами, включающего:

- начальные исследования;
- разработку противодействующих мер;
- применение противодействующих мер;
- дальнейшие исследований.

На первой стадии проводились сбор данных о возникновении выбросов и их обработка методами статистического анализа. Эти работы были направлены на установление взаимоотношений между добычными (а также подготовительными) работами и наблюдавшимися сейсмическими событиями. Одновременно с наблюдениями выполнялись интенсивные лабораторные исследования с целью выяснения поведения напряженных пород, их деформационных характеристик и механизма обрушения хрупких пород.

Применение сейсмометров в поздних 1950-х гг. показало, что число наблюдаемых сейсмических событий значительно превышает число зарегистрированных внезапных выбросов пород. Независимо от этих исследований некоторые математические работы рассматривали, может ли теория упругости описывать поведение пород, окружающих полость экскавации. Сравнение измеренных и рассчитанных компонентов смещения пород, вызванного горными работами, показало, что теория упругости – модель, способная описать поведение большинства крепких пород, в которых залегают рудные месторождения Южной Африки и других, схожих с ними районов. Только трещиноватые породы, непосредственно примыкающие к полости экскавации, не соответствуют поведению упругой среды и должны быть исключены из соответствующего анализа.

В ходе второй стадии изучения проблемы сейсмичности предлагались практические меры противодействия внезапным выбросам пород, которые могут быть разделены на стратегические и тактические (см. главу 3).

При реализации последующих стадий огромную роль играла разработка новых концепций и уровней менеджмента, включая подготовку нового поколения инженеров-специалистов по механике пород, которые могут руководить выбором защитных мер. Сегодня все главные золотодобывающие компании имеют таких специалистов. Планирование горных работ выполняется ими с целью сравнения и ранжирования опасностей сейсмических рисков, возникающих при возможных технологических альтернативах.

Рассмотрение мирового опыта внезапных выбросов пород показывает, что эти сейсмические события могут быть ранжированы согласно табл. 2.2.

Таблица 2.2 – Ранжирование сейсмических событий

Магнитуда по Рихрету, M_k	Кинетическая энергия, MS	Взрывчатый эквивалент, кг	Радиус источника, м
-1	0,002	0,04	0,8
0	0,06	1,2	2,6
1	2,0	40	8,5
2	60	1200	26
3	2000	40000	84
4	60000	1200000	270

Важное значение в изучении сейсмических событий имеет терминология, определяющая основные понятия этих породных явлений.

В английском языке слово «burst» - выброс предполагает более насильственный, мгновенный, внезапный процесс, чем «rock fall» - падение (обрушение) пород или даже «collapse» - сильное обрушение, обвал. Немецкий термин «gebirg-slaqge» - «горный удар» и французское выражение «coup de terrain» - «удар земли» подобны по обозначениям мощи и силы. Испанское название «estsllido de roca» буквально переводится, как «взрыв породы». Все эти термины происходят от очевидной неожиданности и разрушительности интенсивного удара, обладающего неожиданной силой и вызывающего взрывообразный разрыв породного массива.

В разных странах исследователи внезапных выбросов используют собственные определения и классификационные системы для описания вида и тяжести последствий. Большинство этих терминов имеют качественный характер и не базируются на какой-либо формализованной системе, но основаны на интенсивности событий, разницы мест возникновения выбросов по отношению к горной геометрии или на видах повреждения пород – отслоении, расщеплении, разрушении и т.д. Формализация таким образом описательной терминологии полезна и необходима в локальных районах или странах, либо даже в сообществах, применяющих отдельные конкретные виды горнодобывающих операций или добывающих конкретные материалы. Однако, подобные системы, вероятно, недостаточно точны в терминах фундаментальной физики или механики, чтобы использоваться, как базис для структурирования и руководства при исследованиях.

Большинство специалистов, вовлеченных в эту проблему, могли бы согласиться, что желательно иметь общую терминологию и стандартные определения. По одному из них внезапный выброс пород определяется, как «...внезапное и иногда насильственное высвобождение накопленной энергии, когда объем пород напрягается сверх предела упругости. Внезапные выбросы могут быть классифицированы, как напряженные, разрушительные или

скользящие. Первый из них является небольшим и локализованным, тогда как два других могут вызвать разрушение выработок туннельного типа или добычных уступов».

По другому определению внезапный выброс характеризуется более широко, как «...любой вид явления с высвобождением (разгрузкой) напряжений, которое вызывается горнодобывающей деятельностью и проявляется в эмиссии сейсмических сигналов».

В Южной Африке сейсмическое событие понимается, как «...переходная энергия, высвобождаемая внезапным трещинообразованием или разрушением породного массива, что проявляется в эмиссии сейсмической вибрации, распространяемой через породы». Внезапный выброс определяется, как значительное повреждение, причиняемое сейсмическим событием при подземной экскавации».

Тема 3. Методы прогноза выбросоопасности угольных пластов и пород. Региональный, локальный и текущий прогноз. Область их применения. Методы прогноза выбросоопасности горного массива в зарубежных странах при строительстве и эксплуатации объектов.

Литература к теме 3: [1,2].

1.4 Управление поведением пород в условиях высоких напряжений

Первым шагом управления поведением породных масс является его прогнозирование различными методами в сочетании с выбором решений по геометрии подземных работ и их последовательности. В теоретическом и практическом подходах к управлению поведением пород применяются аналитические, эмпирические, цифровые (компьютерные) и наблюдательные методы.

Аналитические (теоретические) методы посвящены оценке соотношений прочности пород и напряжений, действующих на них. Существуют различные пути разработки этих методов, рассматриваемые в курсах механики горных пород и выходящие за рамки этой книги.

Эмпирические методы базируются на показателях прочности пород на осевое сжатие, максимума и минимума напряжений в массиве, индекса сосредоточенной нагрузки и тангенциальных сжимающих напряжений вокруг экскавации.

Цифровые методы в сочетании с компьютерной технологией в настоящее время используются при планировании экскавации или управления устойчивостью подземных структур, и могут быть разделены на три группы: непрерывные, дискретные и комбинированные. Выбор конкретной модели базируется на многочисленных факторах таких, как вид пород, структурные неоднородности, особенности материала породных масс.

Непрерывные методы цифрового моделирования используют предположения, что исследуемая структура непрерывна и может быть условно разделена на внутренние связанные элементы. Преимущества использования этих методов проявляются, когда моделируемую реальную структуру на самом деле можно считать непрерывной, т.е. породный массив монолитен и в нем отсутствуют перемещения блоков и крупные трещины. Если моделируемая структура имеет большое число неоднородностей, которые заставляют породные массы перемещаться не как единая система, эти методы не могут быть применены.

Дискретные методы предполагают, что имитируемая структура разграничена сочленениями и имеет среднее значение трещиноватости. Здесь методы моделирования основываются на дискретных элементах, а в структуре ожидают большие перемещения блоков.

Комбинированный метод использует преимущества обоих описанных методов и устраняет некоторые недостатки, связанные с их практическим применением. Существует ряд программ плоскостных (в двух измерениях) и пространственных (объемных, в трех измерениях) таких, как FLAC, FLAC3D, 4DEC, 3DEC, которые не объясняют с исчерпывающей полнотой механизма поведения пород, однако, доказали, что служат хорошим инструментом принятия решений, относящихся к дизайну и планированию экскавации подземных полостей.

Общая характеристика цифровых методов приведена авторами в книге «Большие подземные полости: дизайн и строительство», «Норд-Пресс», Донецк, 2009.

Цифровые модели для целей дизайна подземной экскавации могут успешно имитировать почти все характеристики породных масс, однако, иногда они не соответствуют реальности конкретной подземной обстановки. Их недостатки снижаются методами наблюдательного подхода.

Наблюдательный подход к дизайну, использующий исходные данные, получаемые из геотехнической разведки и мониторинга поведения пород, служат фундаментальным элементом процессов дизайна и строительства. Дизайн считается незавершенным, пока его предложения не подтверждены реализацией структурных решений. В ходе процесса оценки дизайна прогнозируемое поведение массива сверяется с реальным.

Такой подход тем более необходим, что геологические неоднородности, варьированность материала, нелинейность процессов распространения деформаций и обрушений пород и т.д. не могут быть правильно представлены в начальном дизайне из-за ограничений базы данных, эффектов масштаба, взаимодействия планируемой структуры с окружающими породами.

Сегодня при достаточном времени и мощности компьютеров по мере определения необходимых исходных данных возможно моделировать и кор-

ректировать почти все природные и производственные процессы детерминистским или вероятностным способами. К примеру, за последние 30 лет сделано значительное продвижение в измерениях напряжений в массиве и интерпретации этих измерений по отношению к геологическим структурам. Главным ограничением такой интерпретации является недостаточность измерений на каждой строительной площадке. Исключениями здесь являются комплексы подземных научных лабораторий и складирования радиоактивных промышленных отходов. Так, для подземной лаборатории в Канаде (URL – Underground Research Laboratory) было сделано около 350 трехосевых измерений напряжений в объеме породного массива 100x100x500 м. Это более, чем вдвое превышает подобные измерения вместе взятые, проведенные ранее на Канадском геологическом щите.

Однако, даже если требуемые исходные данные представлены, необходимо преодолеть две основные проблемы:

- построенная модель может неадекватно отражать физический процесс, наблюдаемый реально;

- переход от сплошной среды к разрывной (например, нестабильное поведение обрушающейся хрупкой породы) может быть неправильно моделирован.

Модели, не соответствующие реальным физическим процессам, прогнозируемым или наблюдаемым, не могут использоваться для дизайна. Однако, если процесс слишком сложен для понимания, используются упрощенные модели, идентифицирующие ситуации с реальными отклонениями от идеализированного поведения. Отсюда следует, что модели не могут эффективно использоваться изолированно – они должны постоянно оцениваться и пополняться результатами наблюдательного подхода.

Тема 4. Способы сооружения капитальных выработок в выбросоопасных условиях. Основные положения технологии сооружения. Технология вскрытия угольных пластов ствола с околоствольным двором и выработками околоствольного двора. Технология проведения выработок буровзрывным способом и проходческими комбайнами.

Литература к теме 4: [2].

Способы предотвращения выбросов угля, породы и газа

В связи с общностью природы и механизма выбросов угля и пород способы предотвращения выбросов в угольных пластах и породах также основываются на общих принципах.

В отдельных случаях, в связи с существенным различием физико-механических свойств угля и выбросоопасных пород, способы эффективные для предотвращения выбросов угля могут быть недостаточно эффективными

для предотвращения выбросов породы.

Предотвращение выбросов угля и пород путем предварительной отработки защитных угольных пластов

Наиболее эффективным способом предотвращения выбросов угля, пород и газа является способ основанный на разгрузке и дегазации выбросоопасных угольных пластов и пород путем предварительной обработки защитных угольных пластов. Эффективность этого способа зависит от мощности защитного пласта, расстояния от защищаемых угольного пласта или породы до защитного пласта, состава пород между пластами, способа управления кровлей на защитном пласте.

Основными параметрами способа являются: величина опережения защитным пластом защищаемого угольного пласта или забоев выработок, проводимых под защитой, размеры защищенной зоны, расстояние от защитного пласта до защищаемого или до выработок, проводимых под защитой [3].

Параметры предварительной отработки защитных пластов для предотвращения выбросов угля в очистных выработках и при проведении выработок по выбросоопасным угольным пластам и породам принимаются согласно [3].

Предотвращение выбросов угля и пород образованием разгрузочных щелей и полостей

Предотвращение выбросов угля и породы путем образования разгрузочных полостей и щелей основано на разгрузке и дегазации призабойной части угольных пластов и пород [3]. Разгрузочные щели и полости для предотвращения выбросов угля могут образовываться как непосредственно в угольном пласте, так и во вмещающих угольный пласт породах, а для предотвращения выбросов пород как непосредственно в выбросоопасных породах, так и в породах, расположенных вблизи выбросоопасных пород.

Образование разгрузочных щелей и полостей во вмещающих породах гарантирует предотвращение выбросов в процессе их образования.

При образовании разгрузочных щелей непосредственно в выбросоопасном угольном пласте предотвращение выбросов в процессе их образования обеспечивается регулированием скорости продвижения и положением исполнительного органа щелеобразующей машины [2].

Процесс образования разгрузочных полостей и щелей хорошо вписывается в технологию очистных и подготовительных работ.

В очистных выработках разгрузочная щель образуется непосредственно в угольном пласте по всей длине лавы, а в подготовительных выра-

ботках по ширине выработки.

При проведении выработок по выбросоопасным угольным пластам смешанными забоями комбайнами избирательного действия разгрузочные полости могут образовываться путем предварительной выемки в забое выработки вмещающих пород [1].

При проведении выработок по выбросоопасным породам щель может образовываться по контуру выработки или располагаться горизонтально в сечении выработки. Щели могут образовываться механическим способом или с помощью невзрывчатых разрушающих веществ.

После образования разгрузочной щели в выработке, проводимой по выбросоопасным породам, производится бурение, зарядание и взрывание шпуров для разрушения породного массива. При этом длина шпуров должна быть на 0,3 м меньше глубины щели. Параметры разгрузочных щелей принимаются согласно [3].

Описанная технология отличается от технологии проведения выработок в обычных условиях только дополнительными работами, связанными с образованием разгрузочной щели. Дополнительные затраты на образование разгрузочной щели компенсируются предотвращением выбросов породы и газа, и, как следствие этого, отсутствием необходимости выполнения работ по ликвидации последствий выбросов; ликвидацией переборов породы при образовании щели по контуру выработки; наличием второй обнаженной поверхности, значительно улучшающей технико-экономические показатели буровзрывных работ.

Предотвращение выбросов при проведении выработок по выбросоопасным породам комбайнами роторного типа

Предотвращение выбросов при проведении выработок по выбросоопасным породам комбайнами роторного типа достигается путем разрушения породы в выбросоопасных зонах исполнительным органом комбайна только по контуру забоя выработки и регулирования скорости разрушения массива горных пород.

Для обеспечения разрушения породы только по контуру забоя при проведении выработки по выбросоопасным породам исполнительный орган комбайна должен иметь полусферическую форму со стрелой прогиба полусферы, равной не более 0,2 его диаметра. Увеличение стрелы прогиба исполнительного органа комбайна приведет к тому, что порода будет разрушаться исполнительным органом по всему забою, что может при определенной скорости разрушения вызвать выброс.

Предотвращение выбросов бурением дренажных шпуров и скважин

В качестве локальных способов предотвращения выбросов могут применяться дренажные скважины и шпуров. Дренажные скважины и шпуров могут применяться для предотвращения выбросов в угольных пластах и калийных солях. При этом со стороны забоя выработки в направлении ее проведения для разгрузки и дегазации призабойной части угольного пласта бурятся скважины длиной 10-15 м и диаметром 150-250 мм [3], а в калийных солях дренажные шпуров вкрест простирания пласта [5].

Предотвращение выбросов угля и пород путем гидрообработки выбросоопасного массива

Для предотвращения выбросов угля и калийных солей применяют способы, основанные на гидрообработке угольных и калийных пластов.

Для реализации этого способа со стороны забоя по углю бурят скважины длиной 4-8 м и диаметром 43 мм. Затем скважины герметизируются и в них нагнетается вода под давлением 0,9-1,5 МПа [3]. Под давлением нагнетаемой воды происходит разрушение (рыхление) угля или калийных солей в призабойной части пласта. При этом пласт теряет в зоне рыхления несущую способность, вследствие чего, зона опорного давления перемещается в глубь массива за пределы зоны рыхления. Пласт в зоне рыхления разгружается и дегазируется. Для обеспечения эффективности гидрорыхления фильтрационная камера в скважине должна располагаться на участке пласта между зоной влияния выработки и зоной максимума опорного давления. При расположении фильтрационной камеры за зоной максимума опорного давления гидрорыхление не произойдет и нагнетание воды в этом случае приведет лишь к повышению напряжений и давления газа в зоне нагнетания. Нагнетание воды в зоне влияния выработки нецелесообразно потому, что эта зона разгружена и дегазирована, и при нагнетании, вода будет уходить по трещинам, не производя работы рыхления.

В тех случаях, когда пробурить скважины для гидрорыхления невозможно применяют гидроотжим пласта [3]. Для гидроотжима призабойной части угольного пласта бурят со стороны забоя в направлении подвигания выработки скважины диаметром 43 мм и длиной не более 4 м.

Скважины герметизируются гидрозатворами и в них нагнетается под давлением вода. Темп нагнетания воды при гидроотжиме пласта должен быть значительно (на порядок) выше, чем при гидрорыхлении. При нагнетании воды в угольный пласт под давлением с высоким темпом происходит отрыв призабойной части пласта, разгрузка и дегазация его. Вследствие высокой

скорости изменения напряженного состояния в призабойной части угольного пласта при выполнении гидростатического теста могут происходить выбросы.

Тема 5. Прогноз выбросоопасности пород. Способ разделения керна на диски. Физика этого явления. Способы борьбы с выбросами пород и газа. Создание щели по контуру выработки механическим способом, замораживанием. Физика этого явления. Способ оптимизации паспорта БВР, увлажнения массива. Способ создания заградительной канатной перемычки.

Литература к теме 5: [1,5]

Петрографический состав и физико-механические свойства песчаников

Согласно данным [2, 3] выбросоопасные песчаники полевошпатово-кварцевые реже существенно кварцевые. Они состоят из обломочного ($53,8 \pm 7,8\%$) и регенерационного ($8,7 \pm 2,3\%$) кварца, полевых шпатов ($7,5 \pm 4,3\%$), обломков пород ($6,7 \pm 4,1\%$), слюдисто-глинистых минералов ($19,4 \pm 7,4\%$) с включением акцессорных минералов (апатита, циркона, турмалина, граната, рудного минерала), редких обуглившихся растительных остатков.

Цемент выбросоопасных песчаников поровой, контактово-поровой, состоящий из гидрослюда, каолинита, карбонатов. Контакты породообразующих минералов прямолинейные, выпукло-вогнутые и структурные. Протяженность контактов $0,45 \pm 0,15$, отношение конечного диаметра зерен кварца к начальному $1,3 \pm 0,7$.

Выбросоопасные песчаники содержат по сравнению со средними характеристиками минерального состава невыбросоопасных песчаников больше кварца обломочного и регенерационного, меньше глинисто-слюдистых минералов, они более крупнозернистые, в них отмечается большая протяженность контактов, развит регенерационный цемент (табл. 4.5). По этим показателям они существенно отличаются от невыбросоопасных [3].

При бурении кернов в выбросоопасных зонах песчаников керн делится на диски.

Таблица 2. Сравнительная характеристика выбросоопасных и невыбросоопасных песчаников по петрографическому составу

Минералого-структурные параметры	Выбросоопасные песчаники средние значения	Невыбросоопасные песчаники среднее значение
Средний размер зерен, мм	0,19	0,14
Кварц обломочный, %	53,77	45,10
Кварц регенерационный, %	3,75	6,16

Слюдисто-глинистые минералы, %	19,26	25,72
Протяженность контактов	0,45	0,22

Петрографический состав выбросоопасных песчаников в опасных и неопасных зонах не имеет существенных различий. Средние значения пределов прочности на растяжение и сжатие выбросоопасных песчаников в выбросоопасных и неопасных зонах соответственно равны 5,2 и 5,9 МПа и 115,0, и 116,5 МПа, а неопасных песчаников по данным [2] соответственно 7,6 МПа, 117,3 МПа. Из приведенных данных следует, что предел прочности песчаников на растяжение в выбросоопасных зонах не существенно (около 10%) отличается от неопасных зон выбросоопасного песчаника и почти на 30% ниже, чем в неопасных песчаниках. Пределы прочности на сжатие выбросоопасных в опасных и неопасных зонах и невыбросоопасных песчаников, определенные в лабораторных условиях существенных различий не имеют.

При определении прочности выбросоопасных песчаников в выбросоопасных и неопасных зонах непосредственно в массиве горных пород прочность определялась по скорости бурения скважин (по буримости) бурильной машиной при постоянном числе оборотов буровой коронки и постоянном усилии подачи. Буримость характеризует сопротивляемость пород разрушению и может быть показателем прочностных свойств пород в массиве [2]. Выбросоопасность зон устанавливалась по делению керна на диски и затем проверялась по фактическому проявлению выбросов на этом участке путем проведения выработки буровзрывным способом. Для оценки существенности различия скорости бурения, как показателя прочности песчаника в выбросоопасных и невыбросоопасных зонах, проводилось сравнение средних величин скоростей бурения. Средняя скорость бурения в выбросоопасных зонах составила 179,8 мм/мин., а в неопасных зонах выбросоопасных песчаников 135,1 мм/мин. Выполненное методами математической статистики исследование существенности различия средних величин скоростей бурения в опасных и неопасных зонах выбросоопасного песчаника подтвердило отсутствие случайности и значимость в расхождении средних величин скорости бурения в выбросоопасных и неопасных зонах. Результаты исследований, показали, что время бурения 1 м скважины в выбросоопасном песчанике изменяется от 3 до 15 мин. При этом максимальное время бурения соответствовало невыбросоопасным зонам, а минимальное – выбросоопасным. Среднее время бурения скважин в выбросоопасных зонах, согласно данным приведенным в [2] в 2,5 раза меньше, чем в неопасных зонах. Таким образом, прочность песчаника в выбросоопасных зонах, при определении ее непосредственно в массиве, существенно ниже, чем в неопасных зонах этого же песчаника.

Согласно [2] статический модуль упругости выбросоопасного песчаника составляет $2,15 \cdot 10^4$ МПа, а невыбросоопасного песчаника $2,0 \cdot 10^4$ МПа.

Согласно [2] статический модуль упругости выбросоопасного песчаника равен $E_{ст.} = 3,5 \cdot 10^4$ МПа, а невыбросоопасного $E_{ст.} = 2,2 \cdot 10^4$ МПа. Согласно [44] в выбросоопасном песчанике $E_{ст.} = (2,2 - 3,5) \cdot 10^4$ МПа, а невыбросоопасном $E_{ст.} = (1,6 - 2,3) \cdot 10^4$ МПа. В выбросоопасных песчаниках в опасных зонах статический модуль упругости составляет $(2,3 - 3,2) \cdot 10^4$ МПа, а в неопасных зонах $(2,6 - 3,5) \cdot 10^4$ МПа. Динамический модуль упругости выбросоопасного песчаника составляет $(1,1 - 2,9) \cdot 10^4$ МПа, а невыбросоопасного $(0,2 - 0,4) \cdot 10^4$ МПа, т.е. выбросоопасные песчаники существенно отличаются от неопасных также как и уголь по динамическим деформационным характеристикам.

На упругие свойства песчаников существенно влияет влажность. Зависимость модуля упругости от влажности приведена на рис. 4.20. Как видно из рис. 4.20 при влажности 2,5% и более динамический модуль упругости приобретает такие же значения как и у невыбросоопасного песчаника.

Средние значения коэффициентов затухания упругих колебаний в выбросоопасных и неопасных зонах выбросоопасного песчаника соответственно изменяются в пределах $0,76 - 0,81$ и $1,02 - 1,07$ м⁻¹.

Выбросоопасные песчаники в выбросоопасных зонах имеют большие значения коэффициентов хрупкости, чем в невыбросоопасных зонах.

Исследования физико-механических свойств песчаников позволили установить, что выбросоопасные песчаники в выбросоопасных и неопасных зонах отличаются по прочности в массиве, коэффициентам затухания упругих колебаний, коэффициентам хрупкости.

Свойства песчаников существенно зависят от горно-геологических условий. Физико-механические свойства песчаников коррелируют со степенью метаморфизма угольных пластов, залегающих в зоне расположения песчаников, и изменяются с увеличением глубины залегания. [2].

Тема 6. Прогноз выбросоопасности угольных пластов: локальный, текущий. Технология проведения выработок по выбросоопасным угольным пластам:

- с опережающей обработкой защитных пластов,
- с созданием каркаса из труб,
- созданием щелей в боках выработок.

Литература к теме 6: [1].

Внезапные выбросы пород рассматриваются, как явления динамиче-

ской нестабильности окружающих породных масс в условиях высоких геостатических напряжений. Выбросы представляют собой внезапное высвобождение потенциальной энергии напряжений породного массива. Поскольку он происходит мгновенно и интенсивно, выброс часто является причиной травм персонала (включая смертельные случаи), повреждений оборудования и вызывает существенные задержки производственной деятельности или срыв срока строительства, приводит к экономическому ущербу.

Из-за сложности строения породных масс и влияния окружающих природных факторов прогнозирование внезапных выбросов пород в дизайне подземных проектов всегда проблематично. Общий подход к этой задаче показан на рис. 4.8.

Одним из новых методов решения этой задачи служит применение искусственной нейронной модели, позволяющей предсказать появление и интенсивность выбросов. Согласно сайту Интернета «Wapedia», (<http://wapedia.mobi/ru/%Do%98%D1%81%DO%BA%...>), «искусственные нейронные сети – математические модели, а также их программные реализации, построенные по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей нервных клеток живого организма. Искусственная нейронная сеть представляет собой систему соединенных и взаимодействующих процессоров (искусственных нейронов). Такие процессоры обычно довольно просты, особенно в сравнении с используемым в персональных компьютерах. Каждый процессор подобной сети имеет дело только с сигналами, которые он периодически получает, и сигналами, которые он периодически посылает другим процессорам.

Нейронные сети не программируются в привычном смысле этого слова – они обучаются. Возможность обучения – одно из главных преимуществ нейронных сетей перед традиционными алгоритмами. Технически обучение заключается в нахождении коэффициентов связей между нейронами. В процессе обучения нейронная сеть способна выявлять сложные зависимости между входными и выходными данными, а также выполнять обобщения».

Нейронная сеть состоит из множества функционирующих элементов, соединенных друг с другом в соответствии с определенными правилами, способных воспринять внешнюю информацию и динамично ответить на нее.

Метод прогнозирования вероятности возникновения внезапного выброса пород с использованием искусственной нейронной сети учитывает различные значения напряжений и их сложные нелинейные отношения в породном массиве, окружающем подземную полость. Главная идея алгоритма состоит в построении схемы связей известных параметров с возможными результатами и в получении прогноза ожидаемого результата.

Подробное описание последовательности построения нейронной се-

ти прогнозирования внезапных выбросов пород выходит за рамки данной книги. На рис. 4.9 приводится методический пример такой сети, в которой входными параметрами S служат критерии выбросоопасности. Результатами прогнозирования вероятности выбросов служат параметры: m_1 – отсутствия выбросов, m_2 – слабого выброса, m_3 – среднего выброса, m_4 – сильного выброса.

При реализации искусственной нейронной сети оцениваемые факторы (критерии выбросоопасности) относятся к трем аспектам: свойства пород, условия напряжений и структурные особенности породных масс. Свойства пород включают коэффициент хрупкости C_1 (brittleness coefficient of strength), индекс тенденции к выбросу C_3 (tendency index), показатель линейной упругой энергии C_4 (linear elastic energy). Фактор условий напряжений включает коэффициент напряжений C_2 (stress coefficient), критерий T трещиноватости пород C_6 (T criteria) и индекс напряжений C_8 (stress index). К структурным особенностям породных масс относятся классификация пород C_5 (grade of surrounding rock) и значение RQD (rock quality designation) – показатель качества пород C_7 (рис. 4.10).

Перечисленные факторы взаимосвязаны и взаимно ограничены. Они совместно определяют возможность выброса и его интенсивность. Но только после анализа нейронной сети можно решить, какие факторы играют главные роли и как оценить уровень их влияния на выбросы пород.

В табл. 4.1 сведены критерии оценки влияния факторов (рассчитанных методами механики горных пород) на интенсивность выброса, а в табл. 4.2 – значения этих факторов на конкретных участках длины коммуникационного туннеля гидроэлектростанции Yalong River, Китай, где для прогнозирования вероятности выбросов пород применялась искусственная нейронная сеть (табл. 4.2).

Таблица 4.1 – Критерии оценки влияния факторов на интенсивность выброса пород

Фактор	Критерии выбросоопасности	Интенсивность выброса		
		отсутствует	слабый	средний
C_1	Коэффициент хрупкости	> 40	40-26,7	26,7-10
C_2	Коэффициент напряжений	$< 0,3$	0,3-0,5	0,5-1,0
C_3	Индекс тенденции к выбросам	$< 2,0$	2,0-3,5	3,5-10
C_4	Показатель линейной упругой энергии	< 40	40-100	100-1000
C_5	Классификация пород	-	II-III	III-IV

C ₆	Критерий Т трещиноватости пород	< 0,3	0,3-0,5	0
C ₇	Показатель качества пород	< 0,25	0,25-0,5	0
C ₈	Индекс напряжений	< 0,15	0,15-0,2	0,2

Применявшиеся в описанном исследовании (Tianbin Li и др.) критерии выбросоопасности, показанные в табл. 4.1, не являются единственными при изучении проблем природы и прогнозирования внезапных выбросов пород. В табл. 4.3 сведены результаты других авторов, позволяющие с резкой степенью адекватности предвидеть поведение пород при создании в них полостей добычных или строящихся.

Таблица 4.3 – Критерии выбросоопасности пород

Автор	Критерий выбросоопасности	Прогноз выбросоопасности
1	2	3
L. Rusens-es	$\sigma_{\theta}/\sigma_c < 0,20$ $0,20 \leq \sigma_{\theta}/\sigma_c < 0,30$ $0,30 \leq \sigma_{\theta}/\sigma_c < 0,55$ $\sigma_{\theta}/\sigma_c \geq 0,55$	выброс не ожидается слабый выброс средний выброс сильный выброс
A. Turchaninov	$(\sigma_{\theta} + \sigma_L)/\sigma_c \leq 0,3$ $0,3 < (\sigma_{\theta} + \sigma_L)/\sigma_c \leq 0,5$ $0,5 < (\sigma_{\theta} + \sigma_L)/\sigma_c \leq 0,8$ $(\sigma_{\theta} + \sigma_L)/\sigma_c > 0,8$	выброс не ожидается вероятный выброс ожидаемый выброс сильный выброс
E. Hoek	$\sigma_{\theta}/\sigma_c = \begin{cases} 0,34 \\ 0,42 \\ 0,56 \\ 0,70 \end{cases}$	легкое расслоение сильное расслоение усиленная крепь сильный выброс
N. Barton	$\sigma_c/\sigma_1 = 5 - 2,5$ $\sigma_c/\sigma_1 < 2,5$	средний выброс сильный выброс
1	2	3

Z. Tao	$\sigma_c/\sigma_1 > 14,5$ $5,5 < \sigma_c/\sigma_1 \leq 14,5$ $2,5 \leq \sigma_c/\sigma_1 < 5,5$ $\sigma_c/\sigma_1 < 2,5$	выброс не ожидается слабый выброс средний выброс сильный выброс
F. Hou	$\sigma_1 < \sigma_c < 0, 0,3$ $0,30 \leq \sigma_1/\sigma_c < 0,37$ $0,37 \leq \sigma_1/\sigma_c \leq 0,62$ $\sigma_1/\sigma_c > 0,62$	выброс не ожидается слабый выброс средний выброс сильный выброс
J. Lu	$\sigma_\theta/\sigma_c \geq 0,3$ $\sigma_i/\sigma_\theta = 0,25$ $\sigma_\theta/\sigma_c \geq 0,4$ $\sigma_i/\sigma_\theta = 0,50$ $\sigma_\theta/\sigma_c \geq 0,5$ $\sigma_i/\sigma_\theta = 0,75$ $\sigma_\theta/\sigma_c \geq 0,6$ $\sigma_i/\sigma_\theta = 1,0$	выброс не ожидается слабый выброс средний выброс сильный выброс
C. Haijun	$W_{qx} < 1,5$ $\sigma_1 <$ $\sigma_c/\sqrt{\alpha W_{qx}}$ $W_{qx} \leq 2,5$ $\sigma_1 \leq$ $1,41\sigma_c/\sqrt{\alpha W_{qx}}$ $W_{qx} \leq 3,5$ $\sigma_1 \leq 1,73$ $\sigma_c/\sqrt{\alpha W_{qx}}$ $W_{qx} > 3,5$ $\sigma_1 > 1,73$ $\sigma_c/\sqrt{\alpha W_{qx}}$	выброс не ожидается слабый выброс средний выброс сильный выброс

В табл. 4.3: σ_θ – тангенциальное напряжение;
 σ_c – прочность породы на сжатие;
 σ_1 – прочность породы на растяжение;
 σ_L – литологическая составляющая;
 W_{qx} – индекс тенденции пород к выбросу;
 σ_1 – максимальное главное напряжение;
 σ_2 – среднее главное напряжение;
 $\alpha = 1 + \varepsilon^2 - 2\mu\varepsilon$, где $\varepsilon = \sigma_2 / \sigma_1$
 μ – коэффициент Пуассона.

Тема 7.

- Выбросы в соляных месторождениях. Способ борьбы.
- Выбросы в изверженных породах. Способы прогноза и борьбы.
- Выбросы породы при сооружении туннелей. Зарубежный опыт прогноза и способы борьбы.

Литература к теме 7: [3].

Петрографический состав и физико-механические свойства калийных солей

Выбросоопасные калийные пласты представлены смесью отдельных минералов, обладающих существенно различными прочностными и деформационными свойствами. Существенное влияние на прочностные и деформационные свойства калийных солей оказывает их структурный состав: величина, форма, взаимосвязь и строение отдельных зерен, составляющих породу минералов.

Структура выбросоопасных калийных пластов разнородная, блочная, а для карналита подразделяется на несколько разновидностей [3].

Выбросоопасные соляные породы обладают повышенной трещиноватостью, образовавшейся в результате микродеформации кристаллов и скольжения слоев относительно друг друга. Наибольшей трещиноватостью обладают карналит и глинистые прослои. При бурении в выбросоопасных солях керновых скважин в выбросоопасных зонах керн делится на диски выпукло-вогнутой формы, а в отдельных случаях разрушается на мелкие кусочки.

Прочность калийных солей на сжатие и растяжение изменяется в широких пределах и составляет соответственно: для Старобинского месторождения $\sigma_{сж} = 19,2 - 26,6$ МПа, $\sigma_p = 0,24 - 2,5$ МПа, а Верхнекамского $\sigma_{сж} = 6,2 - 23,7$ МПа, $\sigma_p = 0,15 - 2,34$ МПа [3].

Статические модули упругости калийных солей изменяются в пределах $E_{ст.} = 0,34 - 2,2 \cdot 10^4$ МПа. При изучении динамических свойств калийных солей установлено, что скорость распространения продольных упругих волн изменяется от 2960 до 5650 м/с, а динамические модули упругости составляют $E_{дин.} = 2,14 - 6,34 \cdot 10^4$ МПа. Работа разрушения калийных солей составляет $A_p = (0,60 - 1,04) \cdot 10^3$ МДж/м³.

Выбросоопасные соляные породы Старобинского месторождения имеют больший процент упругих деформаций по сравнению с невыбросоопасными породами. При обследовании свойств соляных пород в природных условиях было установлено, что в выбросоопасных зонах они обладают пониженной прочностью, обусловленной нарушенностью структуры вследствие тектонического воздействия на них, и приурочены к геологическим нарушениям [3].

Тема 8. Зарубежный прогнозы и способы борьбы с выбросами угля, породы и газа. Опыт Бельгии, Франции, Англии, Японии, Германии, Польши, Болгарии, Австралии, Нидерландов.

Литература к теме 8: [4].

В связи с постепенным увеличением глубины горных работ растет их

сейсмическая опасность. Так, если в 1991 г. максимальные магнитуды для золотоносных месторождений Южной Африки составляли: Rand – 3,7, Far West Rand – 4,2, Klerksdorp – 4,3, Orange Free State – 3,0, то уже в 1992 г. они возросли соответственно до 4,2; 4,6; 4,9; 4,5. События с такими магнитудами почти определенно связаны с геологическими неоднородностями и подвержены влиянию увеличивающейся площади горных работ.

Усложнение геотехнической обстановки в сейсмоопасных условиях требует адекватного инженерного ответа. За десятилетия научно-исследовательских работ и приобретения практического опыта разработаны стратегические и тактические меры для предотвращения или снижения опасности внезапного выброса пород и уменьшения тяжести их последствий.

К стратегическим мерам относятся:

- изменение системы разработки, в частности, применение длиннозабойных систем (при пологом залегании рудного тела), исключающих оставление опорных целиков на площади добычных работ;
- применение упрочненной закладки выработанного пространства;
- минимизация концентрации напряжений адекватными расположением и ориентацией подземных полостей относительно неоднородных геологических структур и зон опорного давления.

Стратегические крупномасштабные меры, планируемые заранее, применяются на больших площадях шахтного поля. Эти меры относительно неизменны в течение длительного времени и контрастны по отношению к локальным тактическим методам, которые могут модифицироваться при повышении уровня опасности. Стратегические меры базируются на суждениях об относительных уровнях выбросоопасности, присущих альтернативным вариантам шахтного дизайна.

Тактические меры принимают возможность возникновения выбросов, как неизбежность, но пытаются ограничить распространение разрушений или регулировать привязку выбросов во времени.

Хотя внезапные выбросы пород известны горным инженерам с начала прошлого века и с тех пор предпринимаются значительные усилия по их изучению, до настоящего времени не созданы гарантированно надежные методы прогнозирования или предотвращения этих событий.

Первой реакцией на увеличение случаев выбросов было применение альтернативных методов горных работ. Начальные наблюдения привели к выводам, что целики, формируемые в ходе добычных операций, уязвимы к выбросам. Отсюда последовало решение о целесообразности применения бесцеликовых систем разработки при пологом залегании рудного тела или переход от нисходящего к восходящему порядку отработки горизонтов при крутом залегании.

Движение породных слоев, вызывающее напряжения в массиве,

уменьшается при заполнении выработанного пространства закладочным материалом. Это снижает опасность внезапных выбросов пород, хотя и не полностью устраняет их.

Правильное расположение подземных полостей по отношению к геологическим неоднородностям имеет значение как для повышения устойчивости полости (см. книгу авторов «Большие подземные полости: дизайн и строительства», «Норд-Пресс», Донецк, 2009), так и для предотвращения сейсмических проявлений, связанных с этими неоднородностями. Правильная ориентация полости, по возможности, перпендикулярно к последним позволяет снизить риск внезапных выбросов.

В некоторых случаях внезапные выбросы предотвратить невозможно из-за либо высоких напряжений, либо фактической геометрии горных работ, уязвимой к выбросам. Применяемые в этих обстоятельствах тактические меры снижения выбросоопасности используют особенности конструкции податливых систем крепи, абсорбирующих сейсмическую энергию, а также возможность перемещения напряженных породных зон от забоя в глубину массива с помощью разгрузочного взрывания.

Крепь для выбросоопасных пород имеет три назначения:

- усиление окружающего массива для того, чтобы управлять обрушением пород;
- если эта цель не достигнута – удержание отторгнутых пород и контроль их перемещения;
- абсорбция энергии, с которой породный материал насильственно и внезапно приведен в движение.

Вид и параметры крепи в общих случаях зависит от прочности и структуры породных масс, которые по мере роста нагрузки могут быть представлены в четырех состояниях:

- состояние упругости. Если предел упругости состоянием пород не превышен, крепь не требуется;
- стабильный рост трещин. Происходит образование невидимых микротрещин, но породные массы стабильны и для дальнейшего распространения трещин требуется увеличение нагрузки. На этой стадии необходимость в крепи зависит от структуры породных масс, например, наличия сочленений породных блоков и складчатости напластования;
- нестабильный рост трещин. После длительного срока стабильности происходит расслоение пород. Растут нестабильные трещины с ослаблением пород вокруг полости. Общим решением на этом этапе служит применение анкерных болтов, арматурных стержней или канатных анкеров. Параметры крепи зависят от структуры пород и интенсивности их размещения;
- непосредственные срезающие разрушения. Происходит расслоение или интенсивный выброс пород. Если незамедлительная после экскавации

установка такой крепи, как болты, арматурные стержни, набрызгбетон с металлической сеткой не стабилизируют ситуацию, в подземных полостях с длительным сроком службы после прекращения деформаций и восстановления равновесия устанавливается монолитная бетонная или сборная железобетонная крепь.

Свойства крепи, используемой в выбросоопасных зонах, зависят от ее роли и ожидаемой тяжести последствий выброса. Когда проблема последствий незначительна, основными требованиями к крепи становятся ее жесткость и прочность, необходимые для усиления пород, окружающих создаваемую полость. Если ожидаются тяжелые повреждения, вызванные выбросом, крепь должна не только усиливать породы, чтобы удержать их от прогиба, но также иметь способность абсорбировать выделяющуюся сейсмическую энергию с помощью специальных конструктивных решений, создающих ее податливость.

Энергия, высвобождающаяся во время выброса и определяемая массой отторгнутых пород и скоростью их отторжения, должна, по возможности, абсорбироваться применяемой системной крепью. В податливых системах, разработанных в последние годы, уровень абсорбированной энергии примерно в 20 раз превышает энергию, абсорбируемую традиционной крепью, обычно применяемой в шахтах и подземном строительстве и показавшей свою неэффективность при серьезных сейсмических событиях.

Другой задачей, относящейся к тактическим мерам предотвращения внезапных выбросов пород, является применение разгрузочного взрывания. Развитие местных концентраций напряжений, увеличивая потенциал опасности выбросов, требует превентивных действий, выполняемых в определенном месте в заданное время и направленных на изменение физико-механических особенностей (в частности, прочности) породного массива перед забоем экскавации. К таким действиям относится разгрузочное взрывание, создающее вокруг подземной полости разгруженную или ослабленную оболочку комбинаций перераспределения напряжений и контролируемого разрушения пород.

Поскольку внезапный выброс связан с упругим поведением хрупких пород, которые потенциально склонны к обрушению при превышении прочности напряжениями, разгрузочное взрывание пытается изменить хрупкую структуру пород на вязкую. Таким образом, в породах не только уменьшаются напряжения, но также создаются зоны податливости по контуру полости.

Разгрузочное взрывание показало свою эффективность в борьбе с внезапными выбросами пород, однако, ее следует применять в особенно опасных ситуациях таких, как высоко напряженные добычные уступы, целики или забои выработок туннельного типа.

Особое внимание вызывает применение разгрузочного взрывания в

напряженных целиках. Некоторые компании разработали стандарты для этих работ, включающие технологию бурения скважин, их расположение, выбор взрывчатых материалов, детали заряжения и взрывания. Разгрузка целиков часто делается с применением индивидуального подхода к каждому конкретному случаю и обычно планируется на основе прошлого опыта проб и ошибок, поскольку дизайн подобных взрывных работ изучен недостаточно.

Существует два пути разгрузки целиков. Во-первых уменьшение жесткости целика достигается трещинообразованием в результате разгрузочного взрывания. Однако, при этом напряжения, изначально вызванные целиком, могут передаваться окружающему породному массиву или соседним целикам, вызывая их нестабильность.

Во-вторых динамическая природа разгрузки может стать триггером (спусковым механизмом) большого сейсмического события, которое эффективно высвобождает энергию напряжений, сотрясая целик и проявляясь во внезапном выбросе пород. Предполагается, что такая сотрясательная разгрузка может считаться успешной только, если высвобождаемая при этом сейсмическая энергия превышает энергию, содержащуюся собственно во взрыве.

Учитывая сложность проблемы наличия напряженных целиков, которые служат источниками внезапных выбросов, шахты стараются применить системы разработки, вообще устраняющие необходимость в опорных целиках (например Lucky Friday в США, Campbell и Macassa в Канаде).

Рассматривая достоинства разгрузочного взрывания, следует иметь в виду, что оно не всегда показывает надежные результаты. Требуются большие усилия, затраты труда и времени для разработки дизайна разгрузочного взрывания, отвечающего поставленным целям обеспечения безопасных условий работ.

3.2 Стратегические меры предотвращения внезапных выбросов пород

В основе стратегических мер по снижению выбросоопасности в условиях работы глубоких шахт лежат технологические решения. Однако, систематизированный подход к их детальному рассмотрению выходит за рамки данной книги. Поэтому далее принципиальные схемы таких решений показаны только в общих чертах, что относится, например, к применению длиннозабойных бесцеликовых систем разработки вместо короткозабойных и технологии закладочных работ.

Учитывая особую сложность, трудоемкость и недостаточную теоретическую изученность закладочных работ, влияния их параметров на количество высвобождаемой сейсмической энергии, а, следовательно, на потенциал выбросоопасности, анализировалась компьютерной моделью. Для условий

шахт Южной Африки рассматривалась гипотетическая площадь разработки 3x3 км с падением рудного тела под углом 21° и оставлением в ее центре приствольного целика размером 1 км x 1 км на весь срок службы шахты. Выемка рудного тела осуществлялась подвиганием забоев по простиранию на средней глубине 3200 м с мощностью выемки 1,0 м. Сравнивались следующие случаи:

- полное извлечение запасов рудного тела;
- оставление по простиранию целиков шириной 20 м, разделенных интервалами 140 м (т.е. один целик на три добычных панели шириной по 40 м), что обеспечивало уровень извлечения руды 85%;
- создание породных закладываемых полос шириной 40 м, разделенных интервалами 120 м (т.е. одна полоса на три панели шириной по 40 м) с закладкой 3% отрабатываемой площади. Рассматривалась возможность уплотнения полосы до 50%, 60% и 70% от мощности выемки;
- то же, что и предыдущий случай, но с одной полосой на каждые 2 панели, т.е. с закладкой 50% отрабатываемой площади;
- то же, что и предыдущий случай, но с закладкой 100% отрабатываемой площади.

Результаты моделирования показаны в табл. 3.1, где для различных рассматриваемых условий оценивался темп высвобождаемой энергии ERR.

Таблица 3.1 – Темп высвобождаемой энергии ERR (MJ/m²) для разных параметров закладки выработанного пространства

Закладка				Полное извлечение
степень уплотнения	50	60	70	
закладываемая площадь	%	%	%	68
33%	43	36	28	
50%	40	33	25	
100%	37	29	22	

Из таблицы видно, что эффективность закладки определяется степенью ее уплотнения. Наименьший уровень высвобождаемой при выбросах в добычных уступах энергии обеспечивается оставлением целиков, однако в таком случае они сами становятся источниками опасности внезапных выбросов пород.

К стратегическим мерам предотвращения выбросов относятся такие изменения ориентации подземных полостей, что позволяет избежать встречи с нарушенными зонами или другими неоднородностями массива. На рис. 3.3 показан пример начальной ориентации главного (силового) и трансформаторного залов электростанции, выбранной без учета геологической обстанов-

ки, а также окончательное расположение этих полостей, принятое в соответствии с конкретными условиями места строительства.

К стратегическим мерам предотвращения внезапных выбросов пород можно также отнести расположение выработок туннельного типа в зонах, разгруженных от напряжений, вызванных горными работами. Наглядным примером целесообразности этого решения служит возникновение сейсмической опасности для полевых штреков шахты Tau Tona, Южная Африка, когда геотехническая обстановка заставила их выйти из разгруженной зоны и расположиться в области влияния опорного давления крупного целика, оставшегося после отработки предыдущих горизонтов.

Золотодобывающая шахта Tau Tona разрабатывает месторождение Carbon Leader Stope с рабочей мощностью 1.0 м и размером по простиранию 5 км, по падению 3,5 км, залегающего под углом 20°. Глубина горных работ, самая большая в мире, составляет 3456 м.

Руда залегает в крепких кварцитах мощностью до 70 м, под которым находятся сланцы мощностью около 150 м. Отработка панелей длиной по 35 м производится с помощью буровзрывных работ со скреперной транспортировкой руды вдоль забоя. С целью предотвращения внезапных выбросов в работающих забоях производится разгрузочное взрывание со скважинами глубиной не менее 2.4 м, расположенными на расстоянии 3 м друг от друга. Отработанные панели закладываются.

Подготовка панелей производится временными и постоянными полевыми штреками (выработками туннельного типа), которые располагаются под выработанным пространством (в лежачем боку массива пород) с отставанием от добычных забоев. Временные полевые штреки сечением 3,0х3,0 м располагаются на расстоянии 20 м от выработанного пространства, постоянные, сечением 3,5х3,5 м – на расстоянии от него 70-80 м.

Расположение штреков в зоне, разгруженной от горного давления добычными забоями, снижает сейсмическую опасность и требования к крепи. Временные полевые штреки, как правило, вообще не крепятся. Постоянные штреки крепятся затампонированными гладкими стержнями диаметром 16 мм, устанавливаемыми по периметру сечения рядами с интервалом между ними 1,5 м. Каждый ряд крепи содержит 9 анкеров, расположенных друг от друга на расстоянии 1,3 м. Штреки также крепятся затампонированными канатными анкерами длиной 3,8 м и набрызгбетоном по металлической сетке с толщиной слоя 50 мм.

При подготовке на шахте горизонта 109 полевые штреки встретили геологическое нарушение SDB, простирающееся с северо-востока на юго-запад и разрывающее рудное тело на 12-20 м. У нарушения и его ответвлений на вышележащих горизонтах оставляется целик (рис. 3.6).

Компьютерное моделирование условий перехода штреками напря-

женной зоны, созданной целиком, показало целесообразность замены жестких стержней анкерной крепи на податливые болты Durabar (см. далее), имеющие способность абсорбировать сейсмическую энергию. Применялся также набрызгбетон, армированный мелкими металлическими стержнями, который наносился с отставанием от забоя до 5 м. В зонах действия высоких напряжений устанавливались канатные анкера длиной 10 м.

При проведении 26 мая 2003 г. полевых штреков в зоне целика без предварительных разгрузочных работ и при пересечении нарушения произошел внезапный выброс пород, состоящий из сдвоенного события с магнитудами 2,8 и 3,1 (рис. 3.6, 3.7) и радиусами воздействия 67-69 м и 200 м соответственно. Им предшествовала серия меньших событий 25 мая 2003 г. с магнитудами 0,5-2,5. Выброс был вызван перемещением плоскости нарушения на 150 мм.

Несмотря на принятые меры по усилению крепи, внезапный выброс пород привел к серьезным повреждениям штреков. Они были засыпаны на площади. Выброшенная порода была тонко измельчена, но стены штреков остались в приемлемом состоянии. Расстояние между сочленениями породных блоков было равно примерно 1 м, также показан анкер Durabal, распрямленный при падении фрагмента породы.

Высота полости выброса варьировалась волнообразно вдоль длины поврежденной зоны и местами составляла до 2 м.

Механизм внезапного выброса объяснялся следующими соображениями:

- энергия упругости, хранящаяся в большом объеме пород (возможно 10^5 м^3) внезапно высвободилась скольжением массива вдоль нарушения SOB;
- при сейсмическом событии скольжение одной плоскости нарушения относительно другой начинается в каком-то критическом дефекте или разрушенном месте на поверхности нарушения. Фронт скольжения расширяется вдоль поверхности нарушения, двигаясь со скоростью равной большей доле скорости волны среза. Общая площадь перемещения может расширяться до круга радиусом 200 м, прежде чем напряжение перемещения не ослабится до степени невозможной для продавливания далее фронта скольжения;

- скорость скольжения может достигать значения 8 м/сек. в ходе перемещения плоскостей нарушения на 150-200 мм, вызывая сейсмическое событие с магнитудой 3,0;

- результат этого перемещения передается массиву, как внезапный подъем давления (волны напряжений двигаются со скоростью нескольких тысяч метров в секунду). Энергия передается, как сжимающие и срезающие вибрации, где частицы породы колеблются с амплитудами от миллиметров до долей миллиметров с начальной скоростью равной половине скорости скольжения плоскостей нарушения, т.е. около 4 м/сек.

Рассмотрение описанных обстоятельств внезапного выброса показывает, что:

- если расстояние между поверхностью нарушения и местом повреждений невелико, большая часть вибрационной энергии переносится волнами высокой частоты (короткой длины), которые могут взаимодействовать с относительно малыми поверхностями выработки и даже неоднородностями породного массива такими, как сочленения блоков или трещиноватость;

Основная литература

1. Кауфман Л.Л. Сейсмические риски внезапных выбросов пород [Электронный ресурс] : практика управления рисками : (обзор зарубежного опыта) : [монография] / Л.Л. Кауфман, Б.А. Лысиков ; под общ. ред. Л.Л. Кауфмана. - 66 Мб. - Донецк : Норд-Пресс, 2011. - 1 файл. - Систем. требования: Acrobat Reader.. – URL:

<http://ed.donntu.org/books/cd2436.pdf>

2.. Николин В.И. и др. Охрана труда и жизнедеятельности. – Донецк, ДонНТУ. **2010**. – 334 с. - 1 файл. - Систем. требования: Acrobat Reader. – URL:

<http://ea.donntu.org/handle/123456789/34454>

3. Правила безопасности в угольных шахтах [Электронный ресурс].- 2 Мб. – Донецк, 2016. - 1 файл. - Систем. требования: Acrobat Reader. – URL:

<http://ea.donntu.org/handle/123456789/34455>

II Дополнительная литература

4. Большинский М.И., Лысиков Б.А., Каплюхин А.А. Газодинамические явления в шахтах./Монография/ Севастополь: «Вобер», 2016. – 283с.. - 1 файл. - Систем. требования: ZIP-архиватор. - URL:

<http://ed.donntu.org/books/cd4037.zip>

5. Подземная геотехнология [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.Н. Анушенков, Б.А. Ахпашев, Е.П. Волков и др. ; Сиб. фед. ун-т, Ин-т горн. дела. - 14 Мб. - Красноярск : СФУ, 2017. - 1 файл. - Систем. требования: Acrobat Reader. – URL: <http://ed.donntu.org/books/20/cd9768.pdf>