

ГЛАВА 9

ДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ

**9.1. Внезапные выбросы угля, породы и газа
в подземных выработках**

**9.2. Физические и структурные особенности
системы «уголь-метан»**

**9.3. Гипотезы возникновения газодинамиче-
ских явлений**

**9.4. Факторы, влияющие на проявление
газодинамических явлений**

**9.5. Явления, указывающие на возможность
возникновения внезапных выбросов угля и газа**

9.6. Прогноз газодинамических явлений

**9.7. Способы предотвращения и
методы прогноза газодинамических явлений**

9.8. Горные удары

К динамическим проявлениям горного давления относят быстротекущие катастрофические явления, возникающие в подземных выработках. К ним, прежде всего, относят горные удары, стрельбание горных пород, выбросы породы, угля и газа, и т.п. В угольных шахтах эти явления связаны с наличием в угольных пластах и породах газа метана. Они носят название газодинамических. При этом происходит быстрое разрушение газоносной или породной толщи. Перемещение ее в выработку сопровождается повышенным, по сравнению с обычным, газовыделением. Подобные же газодинамические явления происходят и в других шахтах, разрабатывающих газоносные полезные ископаемые, например, каменную соль.

Возникновение газодинамических явлений является следствием совокупности естественных факторов, характеризующих месторождение как геологический объект, и результатов горной деятельности. Объем выброшенных в подземные выработки разрушенных пород и угля ограничен, но при этом газ, выделившийся во время протекания газодинамического явления, за очень короткое время может заполнить практически всю сеть горных выработок. Это делает газодинамические явления наиболее опасными для человека проявлениями горного давления.

Степень опасности газодинамических явлений зависит от их характера и масштаба. Газодинамические явления классифицируют по:

- **количеству продуктов выброса**, определяемому массой раздробленного и выброшенного в выработку угля (породы) в тоннах и выделившегося газа в м^3 ;
- **интенсивности**, равной отношению массы выброшенного угля (породы) к продолжительности выброса, измеряемой в т/мин;
- **параметру загазованности**, который равен отношению количества выделившегося газа к массе выброшенного угля (породы), измеряемому в $\text{м}^3/\text{т}$.

Принимая во внимание тот факт, что внезапные выбросы угля (породы) и газа являются наиболее опасными и распространенными, будем в дальнейшем говорить в основном об этом газодинамическом явлении, имея в виду полный комплекс динамических проявлений горного давления, куда относятся даже те случаи, когда выделение газа отсутствует.

9.1. Внезапные выбросы угля, породы и газа в подземных выработках

Первое упоминание о внезапных выбросах угля и газа относят к 1834 году, когда на шахте «Исаак» угольного бассейна Луары во Франции впервые было зарегистрировано это явление. По мере перехода шахт Бельгии и Франции на более глубокие горизонты частота и сила внезапных выбросов возрастали. К концу 19 века число выбросов в одном только бассейне Гор (Южная Франция) превзошло 2000. Эти явления стали известны в Германии (Рур, Нижняя Силезия), Англии (Южный Уэльс), Венгрии и Канаде.

В горнотехнической литературе специальные статьи, посвященные внезапным выбросам, появились в 80-х годах 19-го столетия после сильного внезапного выброса в 1879 г в шахте «Агрипп» №2 (Бельгия). Во время этой аварии было выброшено 420 т угля, около 2000 м³ метана и погиб 121 человек. Еще более крупная авария произошла в начале 20 века на руднике «Моржен» (Британская Колумбия), когда было внезапно выброшено 3500 т угля и 700000 м³ метана.

В Украинском Донбассе первый выброс угля и газа произошел в 1906 году при вскрытии квершлагом пласта Смоляниновский шахты «Новая Смолянка» на горизонте 728 м.

В течение последних 150 лет произошло около 30000 явлений выбросов угля и газа, включая и те, которые были вызваны взрывными работами. За последние 30 лет отмечено также свыше 4000 выбросов скальных пород и газа. Выбросы зарегистрированы в Австралии, Бельгии, Болгарии, Китае, Чехии, Словакии, Франции, Испании, Голландии, Японии, Канаде, Корее, Польше, Румынии, Германии, Турции, Венгрии, Великобритании, России, Украине, Казахстане. Наибольшее количество выбросов отмечено в угольных шахтах КНР (около 12000 с 1956 г.), Франции, СССР (около 6000), в Польше (свыше 1600), Японии (свыше 1400), Бельгии, ЧССР, ВНР, Австралии (около 500) и т.д. Величина выбросов колеблется в широких пределах, достигая 5-14 тыс. тонн выброшенного угля и 1500-3500 тонн скальных пород, а также 600-1200 тыс.м³ выделенного метана и 800 тыс.м³ двуокиси углерода. Непосредственно при выбросах в течении 10 лет погибло 15 тыс. человек, а при выбросах и взрывах метана – около 60 тыс. человек [104]. Выбросы угля, скальных пород и газа несут с собой опасность засыпания горных выработок под которыми могут оказаться люди, а

также опасность заполнения выработки газами, сопровождающими выбросы. В том случае, когда выброс сопровождается выделением углекислого газа или азота, появляется опасность удушья, а при выделении метана, водорода или сероводорода появляется опасность взрыва газовоздушной смеси. Взрыв воспламеняющихся газов может инициировать взрыв угольной пыли.

После выброса в целике угля или породном массиве возникает определенных размеров полость, называемая после выбросовой каверной, а на поверхности выработки обнаруживается большое количество тонко измельченного угля, так называемой «бешенной муки».

Кроме характерных газодинамических явлений, описанных выше, происходят также явления малого масштаба. Они отличаются от классических выбросов тем, что при этих явлениях не образуются после выбросовые каверны и в после выбросовой массе отсутствуют пылевые фракции [135, 136]. Так, в некоторых шахтах, опасных или неопасных с точки зрения газодинамических явлений наблюдаются их симптомы в виде:

- выдува газа и крошки при бурении шпуров;
- выделение большего количества метана, чем это вытекает из метаноносности пласта; а также сорбционной способности угля;
- большего количества добытого угля, чем это вытекало из предполагаемого его объема, добытого путем выполнения взрывных работ.
- возникновения в зонах тектонических нарушений отжима и высыпания угля в забое выработки с одновременным выделением большого количества метана;
- выхода метана из вскрытых тектонических разломов.

Академику А.А. Скочинскому принадлежит наиболее точное определение явления внезапных выбросов угля и газа: **«Внезапным выбросом угля и газа считается явление лавинонарастающего смещения угля под действием горного давления и заключенного в угле газа, сопровождающееся динамическим эффектом с отбросом угля и тонким его измельчением, необычно значительным выделением газа в короткое время и образованием характерной полости в пласте»**. В этом определении в логически правильной последовательности отражены характер развития процесса, силы участвующие в нем, характерные признаки процесса, последствия явления.

Необходимость точного определения внезапного выброса угля и газа была вызвана тем, что динамические явления, возникающие в

различных горнотехнических и горно-геологических условиях, различаются как по физической сущности процессов их образования и развития, так и по степени тяжести последствий. Поэтому направления исследований в этой области, в том числе гипотезы, теории, методы прогнозирования и борьбы с такими явлениями, также оказываются различными. Для обобщения мирового опыта и систематизации проводимых исследований рабочая группа Европейской экономической комиссии (ЕЭК) в октябре 1994 г приняла «Классификацию динамических явлений в шахтах» и рекомендовала использовать ее в горнодобывающей промышленности.

Единая классификация динамических явлений создана на основе энергетической теории горных ударов, энергетической силовой теории выбросов угля, породы и газа, обобщения мирового опыта в решении проблем динамических явлений на угольных шахтах. В классификации (табл. 9.1) выделяются четыре класса явлений: горные удары, выбросы газа, выбросы угля, породы и газа, горнотехнические явления.

Определение внезапного выброса, данное А.А. Скочинским, позволяет идентифицировать явление, произошедшее в выработке, по отношению к другим видам динамических явлений, представленных в табл. 9.1.

Для экспертной оценки произошедшего явления необходимо знать отличительные признаки внезапного выброса. Такими признаками являются:

- отброс угля от забоя на расстояние, превышающее протяженность возможного размещения его под углом естественного откоса;
- образование в угольном пласте полости;
- смещение угля в выработку;
- повреждение и отброс оборудования;
- повышенное по сравнению с обычным выделение газа в горную выработку;
- наличие тонкой угольной пыли («бешенной муки») на откосе выброшенного угля и на крепи.

Таблица 9.1.

Единая классификация динамических явлений
рабочей группы по углю ЕЭК ООН

Классы динамических явлений	Горные удары	Выбросы газа	Выбросы угля (породы) и газа	Горно-тектонические явления
Виды энергии, участвующие в формировании динамических явлений	Энергия напряженных угля и пород	Энергия газа	Энергия напряженных угля и пород, газа	Энергия напряженных угля и пород, газа, сейсмических волн

Признаки, приведенные в первых четырех пунктах, являются следствием возникновения ударной волны, распространяющейся в воздушной среде выработки со сверхзвуковой скоростью. Это свидетельствует, с одной стороны, о скоротечности развития процесса, а с другой – о значительной энергии, выделяющейся при этом.

Приведенные отличительные признаки внезапного выброса угля и газа, а также динамичный характер его проявления, ставят это явление в разряд необычных по отношению к остальным проявлениям горного давления. Необычность заключается, прежде всего, в энергии, реализованной в виде ударной волны, работе выноса угля из пласта в выработку на значительное расстояние с одновременным исключительно тонким его измельчением, необычно большим выделением метана и тем энергетическим запасом, который предположительно мог иметь место в приконтурной области породного массива. Количество выделившейся энергии оказывается значительно превышающим ее расчетное количество. Чтобы понять это несоответствие, необходимо углубить представление об угле, как геологическом образовании и физической структуре.

9.2. Физические и структурные особенности системы

«уголь-метан»

Угли являются высокомолекулярными соединениями, образовавшимися путем реакций конденсации из различных химических соединений, входящих в состав отмерших растений.

Физические свойства углей изменяются в зависимости от состава исходной растительности, условий ее накопления и погребения, обусловивших образование угля того или иного типа. Они колеблются также в зависимости от условий литификации растительного материала после его погребения, влияющих на степень метаморфизма углей.

С точки зрения физической структуры угли представляют собой пористое тело, размер пор которого изменяется в пределах от 10^{-10} до 10^{-4} м. Наличие пор столь малого размера обуславливают, во-первых, проявление такого свойства углей как сорбция, т.е. явления поглощения газа поверхностью твердого тела или его объемом, и, во-вторых, способностью удерживать поглощенный газ (метан) в порах силами молекулярных связей, поскольку размер пор оказывается соизмеримым с диаметром молекулы метана. Количество удерживаемого таким образом газа зависит от сорбционной емкости угля и определяется удельной поверхностью пор (в кв. метрах на 1 грамм угля). Удельная поверхность ископаемых углей составляет, в среднем, $200 \text{ м}^2/\text{г}$.

Количество кубометров газа, приходящегося на единицу объема угля, доходит до 54 (м^3 метана/ м^3 угля). Этот газ, как было сказано выше, находится в связанном состоянии и удерживается силами молекулярных связей. Из общего газосодержания в угольном пласте его доля составляет от 90 до 98 % и только от 2 до 10% приходится на свободный газ, способный мигрировать в системе макропор, трещин и т.д.

Таким образом, ископаемый уголь является мощным сорбентом, а его метаноемкость определяется структурой и непосредственно не зависит от величины горного давления. Связанный на молекулярном уровне газ обладает большим запасом внутренней энергии, которая при переходе его из связанного состояния в свободное реализуется в виде внезапного выброса тонкоизмельченного угля и газа. Размер частичек выброшенного угля, так называемой «бешенной муки», составляет около 10^{-10} м и свидетельствует о том, что они образовались в результате разрыва пор внутренним давлением.

Причиной, провоцирующей внезапный выброс, является критическая совокупность факторов (напряженное состояние угля и вмещающих пород, неотектоника, структура массива, его газонасыщенность и прочность, геометрические размеры искусственно создаваемой полости, темпы ее сооружения, усилие работающих механизмов и т.п.), которая приводит к тому, что после очередного, достаточно малого, воздействия в процессе добычи угля или проходки выработки на систему «углевмещающий массив-полость» она катастрофически быстро теряет устойчивость и переходит из одного равновесного энергетического состояния в другое, обладающее более низким уровнем энергии.

Выше были приведены самые общие рассуждения о природе газодинамических явлений. Длительные же и всесторонние исследования их привели к разработке ряда гипотез, теоретических положений, авторы которых по своему трактовали механизм случайных выбросов.

Энергия, выделившаяся в процессе реализации внезапного выброса, расходуется на измельчение угля, перемещение горной массы, разрушение крепи и механизмов.

9.3. Гипотезы возникновения газодинамических явлений

Попытки объяснить причины, лежащие в основе механизма газодинамических явлений, были предприняты практически сразу же после того, как эти явления были зафиксированы. Исследования проводились в разных странах, в том числе очень активно в Польше и в Украине. Были достигнуты существенные результаты как в области теории, так и практики, однако даже сейчас нельзя в полной мере утверждать, что эта проблема полностью решена [137, 138].

На настоящий момент известно около 150 гипотез, пытающихся объяснить механизм протекания газодинамических явлений. Все они могут быть разделены на три группы, отличающиеся факторами, которым отводится определяющая роль в развязывании газодинамических явлений.

1. Гипотезы, основанные на доминирующей роли газа. Представителями этой группы гипотез являются С. Арнольд, Н. Гиссен, О. Руфф, Н. Бриггс, Ф.А. Корнет, В.С. Кравченко, А. Гюнтер. Авторы допускали, что газ находится в залежи в «гнездах» сильно измельченного угля. С приближением забоя выработки к такому «гнезду»

угольный целик между «гнездом» газа и забоем прорывается и раздробленный уголь выбрасывается газом в выработку. Образование «гнезд» этого типа могло произойти во время тектонических процессов в давние периоды или в результате механического нарушения структуры угля в глубине целика, например, при взрывных работах. Согласно этим гипотезам, газ, находящийся в угле, представлен в свободном виде под большим давлением. Предполагается даже присутствие двуокиси углерода в жидком состоянии [139].

Более глубокий анализ газодинамических явлений привел к отказу от теорий этого типа.

2. Гипотезы, основанные на доминирующей роли давления газообразования. Представителями этой группы гипотез являются А. Гертнер, М. Ярлер, Я.М. Печук, Е. Одибер, В. Будрык, И Цис. Их авторы отождествляли газодинамические явления с горными ударами. Значение газа принималось ими как второстепенное, полагалось, что он осуществляет лишь транспортировку раздробленной массы угля в выработку [140].

Гипотезы эти объясняют отдельные случаи появления газодинамических явлений в газоносном слое результатом внезапных сотрясений, вызванных ведением взрывных работ или обрушением кровельных слоев.

Научные воззрения, отбрасывающие вообще какую либо роль газа в механизме развязывания газодинамического явления и принимающие в качестве главной причины только напряженное состояние угля и горных пород, не подтвердились.

3. Гипотезы, трактующие механизм газодинамических явлений как многопараметрический. Представителями этой группы гипотез являются А.А. Скочинский, Р. Кюйе, В.В. Ходот, В. Гимм, Я. Тарноски, В.Я. Николин, Н. Гилл, Я. Литвинишин. Авторы этих гипотез допускают, что на проявление газодинамических явлений влияет: давление горных пород (уровень напряжений в целике), газ, содержащийся в угле (особенно его давление), а также физические свойства угля и скальных пород (в основном механические свойства) [139, 141-147].

Дополнительно авторы этих гипотез указывают на очень существенную роль тектоники пластов угля (выдавливание, сдавливание, выклинивание и т.п.) [148].

Большинство современных гипотез газодинамических явлений объясняют их следующим образом:

- Напряжение вследствие горного давления ведет к растрескиванию, разрыхлению угля вблизи забоя выработки, его выдавливанию в выработку, уменьшению прочности и изменению газопропускной способности. Давление горообразования как бы подготавливает пласт угля у забоя к внезапному перемещению в выработку, создавая благоприятные условия для выделения большого объема сорбированного газа;

- Газ, содержащийся в угле, является дополнительным фактором обуславливающим часть работы, необходимой для отрыва и перемещения масс выброса в выработку, причем скорость выделения газа зависит от качества угля, его пористости, трещиноватости и структуры. Оба эти процесса протекают одновременно, лавинообразно, инициируя газодинамическое явление.

Используя лишь качественную оценку, ряд исследователей [149, 150] выражают уверенность в связи механизма протекания газодинамических явлений с генезисом и природными свойствами системы «уголь-газ».

В пористой структуре угля имеют место, в основном, молекулярные поры. Малый диаметр этих пор составляет серьезные препятствия для выхода газа из угля. Уголь, насыщенный газом, имеет тенденцию к увеличению своего объема, в то же время уголь, находящийся в пласте в состоянии всестороннего сжатия, не имеет возможности увеличить свой объем при сорбции газов. По этой причине в пласте угля большая часть газов находится в адсорбированном состоянии. Наличие в угле адсорбированных в избытке газов, а также отсутствие возможности перемещения зажато между породами кровли и почвы угля, являются причиной того, что система «уголь-газ» находится в напряженном состоянии с большим запасом энергии.

При обнажении свободной поверхности в пласте угля появляется возможность перехода сначала адсорбированного, а затем и абсорбированного газа в свободное состояние. Однако, благодаря малому количеству транспортирующих каналов в ненарушенном угле, этот переход происходит постепенно и выделение газа не имеет лавинообразного характера. В тектонически нарушенном угле, благодаря наличию большого количества трещин – каналов, существует возможность быстрого выхода газа в процессе разгрузки напряжений. При этом происходит дальнейшее дробление и измельчение угля.

В случае существования в пласте угля зоны, склонной к возникновению газодинамического явления (тектонические или структур-

ные нарушения), быстрое разрушение горными работами барьера из угля с малой пропускной способностью может вызвать лавинообразное изменение состояния системы «уголь-газ», выделение сорбированного газа и разгрузку напряжений. Выполняется работа измельчения и выноса угля, а избыток накопленной энергии переходит при этом в кинетическую энергию выброса [151].

Процесс развития газодинамических явлений очень трудно наблюдать непосредственно в шахтных условиях, поэтому до сих пор отсутствует точное его описание. Большинство исследователей склоняется сейчас к тому, что в протекании газодинамического явления можно выделить четыре последовательные стадии:

1. Стадия образования дополнительных поверхностей отрыва. В этой стадии происходит внезапное обнажение новых поверхностей в угольном целике, насыщенном газом и находящимся в трехосном напряженном состоянии. Такое обнажение наступает в результате локального уничтожения целика и возникновении в нем трещины или совокупности трещин под действием горного давления, взрывных работ, очистных механизмов или бурового инструмента.

В образовавшейся трещине изначально нет газа, причиной чего является наличие больших градиентов концентрации сорбированного газа и давления свободного газа вблизи обнаженной поверхности. В результате этого происходит дальнейшее растрескивание и дробление угля на обнаженных поверхностях, что делает возможным высвобождение газа содержащегося в первоначальных микропорах и трещинах в новые свободные пространства.

2. Стадия свободного газа. Процесс перемещения газа, инициированный нарушением равновесия системы «уголь-газ», преобразуется в процесс выброса (эжекторный процесс). Главной движущей силой в этой стадии является газ, не находящийся в сорбированном состоянии, т.е. свободный газ.

3. Стадия сорбированного газа. Десорбция газа из угля возрастает по мере того, как уголь дробится и перемещается. Высвобожденный таким образом газ действует как пневматический носитель. Сила, генерируемая газом, должна превзойти определенную пороговую величину. Эта величина будет достигнута тогда, когда скорость дробления угля превышает эмиссию газа. В противном случае давление газа будет падать быстрее, чем наступает потеря связи частиц угля в целике и тогда высвобождающийся газ не в состоянии вызвать выброс.

4. Конечная стадия. Процесс выброса (эжекторный процесс) заканчивается, когда весь раздробленный уголь, находящийся в сыпучем состоянии, будет вынесен из послевыбросовой каверны. Представленная выше краткая качественная характеристика механизма протекания газодинамического явления достаточно хорошо подтверждается наблюдениями, выполненными непосредственно в шахтах.

Современные гипотезы, трактующие газодинамические явления как многопараметрическое, являются, несомненно, наиболее близким объяснением механизма развязывания внезапного выброса угля (породы) и газа. В соответствии с ними **газодинамическое явление представляет собой потерю устойчивости геомеханической системы, в которой накопленная потенциальная энергия превзошла некоторый критический уровень, определяемый структурными особенностями газонасыщенных горных пород, сопровождаемый её резким переходом в энергию механического разрушения молекулярных связей и кинетическую энергию выброса разрушенной горной массы и газа.**

Катализатором развития внезапного выброс угля(породы) и газа при такой трактовке может послужить любое, даже незначительное, внешнее воздействие, например, запуск механизма в забое выработки.

9.4. Факторы, влияющие на проявление газодинамических явлений

В результате многолетних наблюдений, экспериментальных исследований и теоретических обоснований было признано, что газодинамические явления возникают в результате одновременного действия следующих факторов:

- достаточно больших напряжений в пласте угля;
- высокой естественной газоносности пласта угля при его низкой газопроницаемости;
- большой склонности угля к механической деструкции при изменении напряженного состояния.

Это представление составляет существенное содержание знаний о газодинамических явлениях, а все используемые методы борьбы с ними в шахтах в основном сводятся к уменьшению напряжений в породном массиве, т.е. к разгрузке отрабатываемого пласта угля или к уменьшению в нем количества и давления газа, т.е. к дегазации. Факт,

что используемые методы борьбы еще не гарантируют в настоящее время полного предотвращения угрозы выброса, является доказательством необыкновенной сложности явлений этого типа.

Газодинамическое явление происходит, в основном, при одновременном действии трех главных факторов: напряжений в породном массиве (N), высокой газоносностью (G) и специфических физических свойств угля (F) [152-154]. Предрасположенность к таким явлениям, стало быть, изначально «закодирована» в породном массиве, однако пути проявления этого явления зависят от характера горной деятельности.

Проведение горных работ с использованием определенных технологий (T) в пласте, опасном по выбросам вносит существенные изменения в начальное равновесное состояние породного массива. Это связано с иным «расставлением акцентов» на отдельные факторы, влияющие на проявление газодинамических явлений. Символически это можно представить в виде следующей функции

$$W = f(N, G, F, T). \quad (9.1)$$

Является очевидным, что возможность проявления газодинамического явления будет тем больше, чем больше будут напряжения в массиве, давление газа и его десорбция, тектонические возмущения, чем меньше будут параметры механической прочности углей и пород, а также чем больше будут внешние силы, возникающие в результате ведения различных технологических процессов (рис. 9.1).

Каждый из вышеупомянутых факторов, влияющих на возможность реализации газодинамического явления, зависит от многих параметров. Например, на уровень напряжений в угле влияют: глубина залегания, род скальных пород, система разработки и управления кровлей, мощность пласта, эксплуатационные явления, время проведения выработки, физические свойства угля и окружающих пород (параметры прочности, структура), насыщение газом, влажность, температура и т.п. Аналогично обстоит дело и с остальными главными факторами.

Основным условием инициации газодинамических явлений является высвобождение вблизи горной выработки такого количества потенциальной энергии угля скальных пород, которого хватило бы для выполнения работы по перемещению угля в направлении выработки. Чтобы вышеуказанный процесс осуществился, должно произойти преобразование потенциальной энергии породного массива, насыщенного газом, в кинетическую энергию выброса. Импульсом

служат внешние силы, возникающие под влиянием технологических процессов.



Рис. 9.1. Факторы, влияющие на проявление газодинамических явлений

Это преобразование можно описать следующим, широко известным уравнением баланса энергии

$$W_m + W_p + W_G + W_W = A_p + A_z + A_D + A_W + W_R, \quad (9.2)$$

где W_M - упругая потенциальная энергия, аккумулированная в зоне, подвергаемой разрушению, W_p - упругая энергия вмещающих пород, включающая тектонические напряжения, W_G - энергия свободного газа и газа абсорбированного в порах, W_w - энергия изменения положения раздробленного угля (в наклонных пластах), A_p - работа перехода в пограничное состояние напряжений, A_z - работа разрушения (дробления) угля и пород, A_D - работа перемещения смеси газа и раздробленного угля в выработку, A_w - работа перемещения выделенного газа в выработках, соответственно (+) или наоборот (-) в направлении потока воздуха в выработке, W_R - энергия рассеянная – тепловая, сейсмическая, акустическая.

Газодинамическое явление возможно, если левая часть уравнения (9.2), характеризующая источники выделения энергии, превышает правую.

Точный количественный баланс энергии преобразования, происходящего при выбросе, зависит, главным образом, от способов получения данных как теоретических, так и практических об этом явлении.

9.5. Явления, указывающие на возможность возникновения внезапных выбросов угля и газа

Многочисленные исследования и наблюдения [137, 142] указывают на существование в пластах угля определенных признаков, сигнализирующих об опасности вероятной угрозы выброса. В опасных местах в пластах угля и окружающих породах часто имеют место тектонические нарушения: разломы, раздавливания, растрескивания, утолщения, флексуры и т.п. Эти признаки опасности, называемые морфологическими. Газодинамические явления возникают, прежде всего, в местах тектонических нарушений, приводящих к снижению прочности угля [148]. В таких местах отмечается изменение внешнего вида угля, он перестает быть блестящим и становится матовым. Не нарушенный слоистый уголь с ясно выраженным кливажем подвергается дроблению, истиранию и теряет свой прежний вид, приобретая землисто-зернистую структуру (брекчия). Наиболее опасны по выбросам пласты угля с искаженной землистой структурой, которые сорбируют и десорбируют значительно большее количество газа, по сравнению с углями крепкими и вязкими.

Внутреннее строение угольного пласта характеризуют также те свойства, которые обусловлены способом пространственного расположения минеральных зерен, а также степенью заполнения ими пространства, занимаемого углем.

Признаками возрастания опасности газодинамических явлений повсеместно считаются:

- нарастание давления вмещающих пород на пласт угля и крепь;
- нарастание подвижек целика угля в забое (выдавливание);
- отрыв мелких частиц угля с забоя и треск в глубине угольного пласта;
- смена прочности и структуры угля по мере перемещения забоя;
- осыпание угля на поверхности угольного забоя и крошение кусков угля;
- усиленное газовыделение;
- самопроизвольное образование облачков пыли на поверхности угольного забоя;
- выдувание стружки угля и газа при бурении шпуров, при давлении газа в шпурах;
- выталкивание и заклинивание сверла при бурении шпуров.

Перечисленные выше признаки, предшествующие газодинамическому проявлению, могут быть представлены по отдельности или в разных комбинациях, а иногда и вообще не проявляются. В некоторых случаях имеют место явления, предшествующие выбросу, противоположного характера, например, уменьшение выделения газа, повышение прочности угля, повышение температуры. В табл. 9.2 дана классификация признаков, опирающаяся на генезис явлений, предвещающих газодинамическое явление.

Таблица 9.2

Классификация явлений предвещающих внезапные выбросы угля и газа

<i>Явления</i>	<i>Черты опасности</i>	<i>Основные признаки</i>
Естественные	Морфологические	Изменение вида пласта: тек-

<i>Явления</i>	<i>Черты опасности</i>	<i>Основные признаки</i>
(первичные)	Структурные Текстурные Гидрогеологические	тонические утолщения, сужения, флектуры, изменения элементов залегания пласта. Тектоническая структура угля: брекчиевидная, линзовидная, землисто зернистая и землистая. Тектоническая текстура пласта: мало-, средне- и интенсивно гофрированная Сухость угля
Горно-технологические (вторичные)	Звуковые эффекты Увеличенная нагрузка на крепь Явления на обнаженной поверхности забоя	Шум, шелест, свист, треск, сотрясения. Изгиб, разрушение элементов крепи. Осыпание угля, отрыв кусочков, выдавливание угля, появление облака пыли.
Сопутствующие	Механические	Уменьшение вязкости угля пониженная прочность угля, пониженная устойчивость угольного целика, увеличенное падение давления газа, повышенная начальная скорость выделения газа, увеличенное выделение газа в выработку

9.6. Прогноз газодинамических явлений

В шахтах с опасностью возникновения газодинамических явлений проводят различного рода наблюдения и замеры с целью оценки возможности реализаций этих явлений. Обычно это называется прогнозированием ГДЯ. Правильная оценка и прогнозирование опасности выбросов имеет целью принятие мер обеспечения защиты персонала и подземного оборудования от последствий этих явлений. В соответствии с полученными результатами теоретических исследований условий, определяющих склонность пластов к проявлению ГДЯ, а также наблюдений в шахтах, считается, что основной целью прогноза является определение в залежи или пласте угля положения и размеров зон, в которых могут проявиться эти опасные явления. Для получения достаточно точных результатов необходима соответствующая прогностическая деятельность, создающая определенную систему прогноза.

Выделяют следующие виды прогноза: региональный, локальный, текущий.

Региональный прогноз имеет целью общую разведку месторождения или региона шахты – новостройки на этапе геологоразведочных работ или предварительную идентификацию месторождений с точки зрения опасности проявлений Г.Д.Я. перед его разработкой в данном регионе.

Локальный прогноз имеет целью определение угрозы ГДЯ на рассматриваемом месторождении или его части в границах горного региона на основании наблюдений и измерений, проводимых во время проходки подготовительных выработок.

Текущий прогноз имеет целью обнаружение в пласте угля условий и зон, особо благоприятствующих проявлению ГДЯ.

Методы текущего прогноза используются также для контроля эффективности профилактических мероприятий, имеющих целью уменьшение опасности возникновения ГДЯ. Также с этой точки зрения методы текущего прогноза используются на этапе вскрытия месторождения, подготовительных и очистных работ.

Среди перечисленных видов прогноза текущий прогноз является важнейшим, поскольку он определяет непосредственно степень опасности при работе персонала, а также влияет на производительность труда.

Несмотря на многолетние исследования и измерения, направленные на оценку вероятности проявления ГДЯ на сегодняшний день

к сожалению не удалось разработать достаточно надежные международно признанные методы прогноза.

Причинами такого положения являются:

- очень сложный физический характер ГДЯ;
- недостаточная степень ясности механизма этих явлений;
- очень большое разнообразие геологических и горных условий на отдельных месторождениях и даже в отдельных шахтах конкретного месторождения.

Оценка вероятности внезапных выбросов в отдельных выработках проводится на основании измерений определенных физических величин, называемых параметрами оценки угрозы ГДЯ. Сейчас в разных бассейнах и даже на отдельных шахтах применяют различные по своей физической сути параметры оценки угрозы. Чаще всего для оценки угрозы принимают достаточно произвольно один или несколько параметров, на выбор которых оказывают субъективные взгляды и предпочтения лиц, устанавливающих данные методы. В результате для целей прогноза исследователи предложили свыше 70 параметров. Часть из них измеряется непосредственно в забое выработки или в целике угля. Остальные параметры измеряются в лаборатории на основе проб, взятых в забое. В табл. 9.3 приведены наиболее часто встречаемые параметры оценки угрозы ГДЯ.

Представленные в табл. 9.3 параметры оценки угрозы ГДЯ разделенные на три группы сообразно трем главным факторам, влияющим на проявление ГДЯ, которыми являются: давление горных пород на пласт, аккумуляция газа в пласте и физические свойства угля [121].

На данный момент не известны исследования, целью которых было бы установление корреляции между значениями отдельных параметров, поэтому невозможно сравнение результатов оценок вероятности появления ГДЯ, которые были выполнены на основе результатов измерений различных характеристик. Это затрудняет не только сравнительный анализ условий возникновения ГДЯ, но и исследований их физической природы.

Следует добавить, что в Польше, Чехии, России, Украине, Казахстане, в отдельных угольных бассейнах используются различные нормативные методы прогноза ГДЯ.

Таблица 9.3

Параметры оценки угрозы газодинамических явлений

N_k - давление горных пород	G_m - газоносность пласта	F_n - физические свойства угля
N_1 - напряжение в пласте; N_2 - акустическая эмиссия пласта; N_3 - динамическая реакция пласта; N_4 - пропагация упругих волн; N_5 - количество шпуров, пробуренных за единицу времени; N_6 - сопротивление бурению; N_7 - выдавливание целика; N_8 - конвергенция кровли и почвы; N_9 - ширина зоны разгрузки; N_{10} - глубина разработки.	G_1 - давление газа в шпуре G_2 - скорость изменения давления газа в шпуре; G_3 - напор истечения газа из шпура; G_4 - скорость изменения напора истечения; G_5 - десорбция газа из угля; G_6 - скорость десорбции; G_7 - естественная газоносность угля; G_8 - температура газа в шпуре.	F_1 - прочность на сжатие; F_2 - прочность на растяжение; F_3 - обрабатываемость; F_4 - динамическое дробление; F_5 - вязкость; F_6 - степень трещиноватости; F_7 - газовыпускная способность; F_8 - влажность; F_9 - содержание летучих фракций; F_{10} - содержание золы; F_{11} - изменение сминаемости пласта; F_{12} - тектонические нарушения.

В Чехии в Остравско-Карвинском районе в отдельных шахтах применяются даже разные значения критериев отнесения пластов к угрожаемым или опасным с точки зрения внезапных выбросов. То же относится и к угольным шахтам Польши. Отсюда следует вывод, что методы прогнозирования и критерии угрозы чаще всего приспособлены к специфическим горно-геологическим условиям конкретного бассейна, а степень их достоверности может быть оценена только на основе количества и вида ГДЯ, которые проявились во время эксплуатации месторождения.

Часто оценку вероятности проявления ГДЯ проводят, опираясь на достаточно произвольно выбранные одну или несколько величин, приведенных в табл. 9.3, причем эти величины не связаны между собой. Правильная оценка угрозы должна предусматривать одновре-

менную оценку всех факторов, обуславливающих эти явления. Соответствующий комплексный показатель должен быть их функцией, т.е:

$$A=f(N_k, G_m, F_n) \quad (9.3)$$

Очевидно, что определение такого показателя должно быть легким для измерения.

В последние годы для оценки угрозы ГДЯ предложен ряд комплексных показателей, которые относятся к различным горно-геологическим условиям [152-153]. В Польше популярной и сравнительно простой методикой прогнозирования ГДЯ «in situ» является бурение шпуров во вскрытом целике угля и измерение:

- давления газа в шпуре с закрытым выходом;
- количества вытекающего из шпура газа;
- количества буровой мелочи, получаемой при бурении шпура;
- скорости десорбции газа из угольной мелочи.

Измеренным величинам присваивают определенные предельные значения, установленные в основном на основе практического опыта и интуиции. Если измерения показывают, что предельные значения превышены, то признается, что существует большая вероятность ГДЯ, или что данная выработка находится под угрозой этого явления. Практический опыт доказывает, однако, что описанный метод не является вполне надежным, и потому его практическая ценность не раз ставилась под сомнение.

Для более детального исследования этой проблемы проведен анализ систематически измеряемых параметров в выбранных шахтах в польских угольных бассейнах, в которых существует опасность ГДЯ. К угрожаемым по ГДЯ относят в Польше шахты в Нижне-Силезском угольном бассейне в районе Валбжиха, а также некоторые шахты в Рыбницком угольном округе.

В Украине при разработке угольных пластов на глубоких горизонтах шахт Донбасса часто возникает угроза ГДЯ. Для их текущего прогноза существуют несколько нормативных методов, подобных тем, которые применяются на шахтах Польши.

9.7. Способы предотвращения и

методы прогноза газодинамических явлений

Способы предотвращения внезапных выбросов угля и газа основаны на снижении уровня напряжений в призабойной области отрабатываемого пласта угля и изменении его структуры. Они разделяются на **региональные** и **локальные**.

Региональные способы предотвращения внезапных выбросов предназначены для заблаговременной обработки угольного массива впереди очистных и подготовительных забоев. Они включают:

- опережающую обработку угольных пластов;
- дегазацию угольных пластов;
- увлажнение угольных пластов.

Локальные способы предназначены для приведения призабойной части угольного массива в неопасное состояние. К ним относятся:

- низконапорное увлажнение угольного пласта;
- гидрорыхление;
- гидроотжим пласта;
- гидровывывание опережающих полостей;
- бурение опережающих скважин;
- торпедирование;
- образование разгрузочных пазов и щелей.

9.7.1. Методы прогноза газодинамических явлений

Применение указанных мер для безопасной обработки выбросоопасных угольных пластов подразумевает обязательное применение текущего прогноза состояния породного массива вблизи выработки. К настоящему времени разработано достаточное количество методов прогноза, различающихся как по физическим предпосылкам, положенным в их основу, так и по параметрам, посредством оценки которых делается заключение о состоянии наблюдаемой области. Достоверность получаемой с их помощью информации определяется тем, насколько правильно был сделан выбор соответствующего метода применительно к местным горно-геологическим условиям и технологии отработки массива. Это накладывает обязательное требование к уровню подготовленности персонала, отвечающего за проведение и отработку результатов применяемого метода прогноза.

Наиболее известными в настоящее время являются методы прогноза газодинамических явлений, основанные на:

- анализе качества буровой мелочи при бурении контрольных шпуров;
- анализе продолжительности бурения одного метра контрольного шпура;
- анализе начальной скорости газовыделения из шпуров;
- динамике начальной скорости газовыделения из контрольных шпуров;
- непрерывной регистрации акустической эмиссии;
- анализе акустических сигналов аппаратурой АПСС.

Рассмотрим их в изложенном выше порядке.

Бурение скважин в аномально напряженных угольных пластах сопровождается разрушением и неупругим деформированием угля вокруг скважины. При этом имеет место повышенный выход буровой мелочи. При диаметре коронки 43 мм нормальный выход штыба обычно составляет около 2,5 л/м (по объему) или 2,0кг (по весу). В опасных относительно выбросов зонах объем штыба достигает 100 и более литров с одного метра шпура, достигая 40-кратного и выше увеличения выхода буровой мелочи с объема шпура по отношению к обычному.

В процессе бурения шпуров по углю на выбросоопасных пластах время бурения одного метра шпура зависит не столько от крепости угля, сколько от его напряженного состояния, так как в случае, если напряжения превосходят прочность угля, шпур самопроизвольно уменьшается в объеме за счет разрушения его стенок. Начинается зажатие бурового инструмента, и время бурения существенно увеличивается.

Этот показатель в высшей степени субъективен, но его определение связано с минимальными потерями и наименее трудоемко.

Измерения начальной скорости газовыделения проводят в контрольном шпуре диаметром 43 мм на интервалах 1,5; 2,0; 3,5 м при измерительной камере 0,5 м. Шпуры необходимо бурить через каждые 2 м в подготовительных выработках, в комбайновых нишах при работе по схеме «лава-штрек» и в нижних просеках крутых пластов при полевой подготовке; через 2,5 м – в очистных забоях.

Зона относится к опасной, если хотя бы в одном из интервалов контрольного шпура измеренная начальная скорость газовыделения из шпура равна g_H^k и более. Размер опасной зоны в лавах ограничивают по падению – восстанию (или простиранию) соседними шпурами, в которых измеренная скорость газовыделения менее g_H^k . Критиче-

ские значения начальной скорости газовыделения g_H^k зависят от марки угля и колеблются от 4,5 до 5 л/мин.

Идея следующего способа основана на факте снижения скорости газовыделения из массива в шпур при аномально высоких напряжениях в угольном пласте, поскольку в таких зонах снижается газопроницаемость угля. Техническая реализация метода такая же, как по начальной скорости газовыделения, однако, информативным признаком является динамика изменения этой скорости.

Сейсмоакустический прогноз выбросоопасности основан на факте повышения интенсивности микротрещинообразования в породном массиве в случае зарождающейся выбросоопасной ситуации [155].

Основным информативным признаком при прогнозе выбросоопасности по акустической эмиссии (АЭ) породного массива является ее активность, которая определяется, как отношение общего числа импульсов АЭ, зарегистрированных звукоулавливающей аппаратуры за интервал наблюдения, к продолжительности этого интервала. Критерий «критического превышения» должен удовлетворять следующему условию:

$$N_{кр} \geq PN_k,$$

где N_k – текущая активность, $N_{кр}$ – активность, при регистрации которой выдается прогноз «опасно», P – коэффициент, зависящий от N_k , ($P=4$ при $N_k \geq 3,6$; $P=4,5$ при $N_k \geq 2 \div 3,5$ импульс/ час).

Этот прогноз работал достаточно эффективно на небольших глубинах, но по мере увеличения глубины уголь становится более пластичным и сейсмичность пластов существенно снижается. При уровнях шумности около 2 имп./час, а таких пластов более 80 %, сейсмоакустические критерии опасности становятся менее достоверными. Это приводит к тому, что все чаще случаются выбросы в потенциально безопасных по сейсмоакустическому прогнозу зонах.

Акустический метод прогноза выбросоопасности угольных пластов аппаратурой АК является принципиально новым методом. Он предназначен для непрерывной оценки степени напряженного состояния нетронутого горного массива в окрестности выработки в процессе ведения добычных работ и основан на активном зондировании исследуемой области акустическими сигналами, которые генерируются в массив работающими в забое механизмами. В качестве зондирующего сигнала используют шум проходческого или очистного комбайна, струга или конвейеро-струга, бурового инструмента.

Информативным параметром, подлежащим обработке специальной аппаратурой АПСС, установленной на поверхности шахты, служит структура акустических сигналов, прошедших через исследуемую область и воспринимаемых датчиком, расположенным вдали от места ведения работ (рис. 9.2) Конечной информацией являются показания в виде безразмерного показателя, свидетельствующего об уровне потенциальной энергии, сосредоточенной в обрабатываемой зоне, и изменяющегося по мере продвижения забоя.



Рис. 9.2. Аппаратура АПСС

Заключение «опасно» выдается, если значение информативного признака превышает некоторый критический уровень.

Этот метод не зависит от естественной сейсмоактивности массива и позволяет контролировать процесс образования в нем зон аномальной концентрации напряжений. Этим же методом осуществляется контроль эффективности проведения противовыбросных мероприятий [156, 157].

9.8. Горные удары

Динамические проявления горного давления в виде горных ударов по своей природе отличаются от газодинамических явлений. Если причина ГДЯ кроется в совокупности факторов, среди которых важнейшими являются напряженное состояние и наличие газа в породах с особой структурой или в угле, то в основе горных ударов лежит несоответствие высокого уровня напряжений в массиве прочности

несущих элементов или всего горного предприятия (например, целики при камерной системе разработки) или отдельных его частей, (например, пласты пород в кровле или почве выработок, если таковые рассматривать как конструктивные элементы).

Проявление горных ударов всегда сопровождается динамическими и акустическими эффектами. При этом динамические эффекты проявляются в сотрясении массива пород. В зависимости от масштаба горный удар может охватывать значительную территорию и способствовать разрушению зданий и сооружений на поверхности. Мощные горные удары охватывают площадь, измеряемую сотнями тысяч метров. Они фиксируются сейсмографами на расстоянии сотен километров от места удара. Иногда по внешнему проявлению горные удары отождествляют с техногенными землетрясениями.

Акустические эффекты во время горных ударов проявляются в виде гула, треска, шума в массиве пород.

На шахтах СНГ первые горные удары возникли в Кизеловском угольном бассейне (Урал). В период 1954-1955 г.г. на шахтах Кизеловского бассейна происходило до 60-70 горных ударов в год. Позднее удары начали возникать на шахтах Шурабского и Кизилкийского месторождений Средней Азии, в Кузбассе, Донбассе, на Сучанском, Воркутинском, Ткибульском месторождениях. Появились также признаки горных ударов в виде стреляния пород при разработке ряда рудных месторождений – таких, как Криворожское, Таштагольское, Кунрадское, Тырнаузское, Апатитовое на Кольском полуострове и др. В Польше горные удары имеют место в угольных шахтах и шахтах по добычи меди. Известны случаи практически мгновенного разрушения в результате горного удара гипсовых рудников в Германии .

Основными факторами, определяющими развитие горного удара, являются геометрия призабойного пространства, напряженное состояние породного массива, имеющего специфическую структуру и высокие прочностные и деформационные свойства. При этом к типичным условиям развития горного удара в условиях угольных шахт обычно относят следующие [155]. Пласт (или отдельная его пачка) – крепкий, однородный уголь, который, как правило, не содержит малопрочных прослоек. Пласт должен обладать высокими упругими свойствами, большой мощностью основной кровли, склонной к зависанию. Способствующими условиями являются также зоны повышенного горного давления от работ на соседних пластах, ведение горных работ на ранее выработанное пространство, отработка оставленных целиков угля,

потолкоуступная форма очистного забоя, подход очистным забоем к передовой выработке, зоны влияния тектонических нарушений.

Горные удары, как правило, классифицируют по их интенсивности и месту проявления. Причем, если классификация горных ударов по их проявлению и вызванному ими разрушению позволяют полнее понять природу и механизм проявления горных ударов, то распределение горных ударов по месту их проявления позволяет судить об условиях нагружения пласта или пород опорным давлением и установить зависимость разрушения пласта от конфигурации целиков и краевых частей массива, что позволяет разрабатывать соответствующие меры безопасного ведения горных работ.

По интенсивности проявления горные удары в Украине подразделяют на четыре группы:

1) стрельяние; 2) толчки, 3) микроудары и 4) собственно горные удары.

В Польше различают такие виды горных ударов: 1) сотрясение, 2) разгрузка и 3) собственно горный удар.

Стреляние проявляется в отскакивании от напряженного массива угольного пласта (пород) отдельных кусков, сопровождающихся резким звуком.

Толчком, или сотрясанием, называют быстропротекающие динамические явления, которые происходят в результате высвобождения накопленной потенциальной энергии, проявляющиеся в колебаниях породного массива и акустических явлениях, не сопровождающиеся ухудшением функциональных качеств горных выработок и не снижающие безопасность их эксплуатации.

Микроударом, или разгрузкой, называют динамическое явление, которое происходит в результате быстрого высвобождения накопленной потенциальной энергии, проявляющееся в колебаниях породного массива и акустических явлениях, сопровождающееся частичными повреждениями горных выработок, при которых не снижается безопасность их эксплуатации.

Собственно горным ударом называют динамическое явление, которое происходит в результате быстрого высвобождения накопленной потенциальной энергии, проявляющееся в колебаниях породного массива и акустических явлениях, сопровождающееся полным или частичным разрушением выработок или всего горного предприятия вследствие перемещения разрушенных горных пород в выработанное

пространство, при котором существенно затрудняется или становится невозможной дальнейшая их эксплуатация.

По своей сути польская классификация горных ударов полностью соответствует принятой в Украине, за исключением термина «стреляние».

Как следует из приведенных выше определений понятия сотрясение, разгрузка и собственно горный удар генетически идентичны. Они различаются лишь масштабом явления и его последствиями.

Классификация по месту проявления предусматривает семь групп собственно горных ударов: - в сплошных целиках (рис. 9.3,а) - в целиках, прорезанных выработками (рис. 9.3,б) - в целиках, отделенных от массива выработками (рис. 9.3,в); - в краевой части угольного пласта (рис. 9.3,г) - в выработках с разрушением почвы или кровли пласта (рис. 9.3,д);- в выработках, проведенных по породе; (рис. 9.3,е);- в выработках, проведенных по песчаникам.

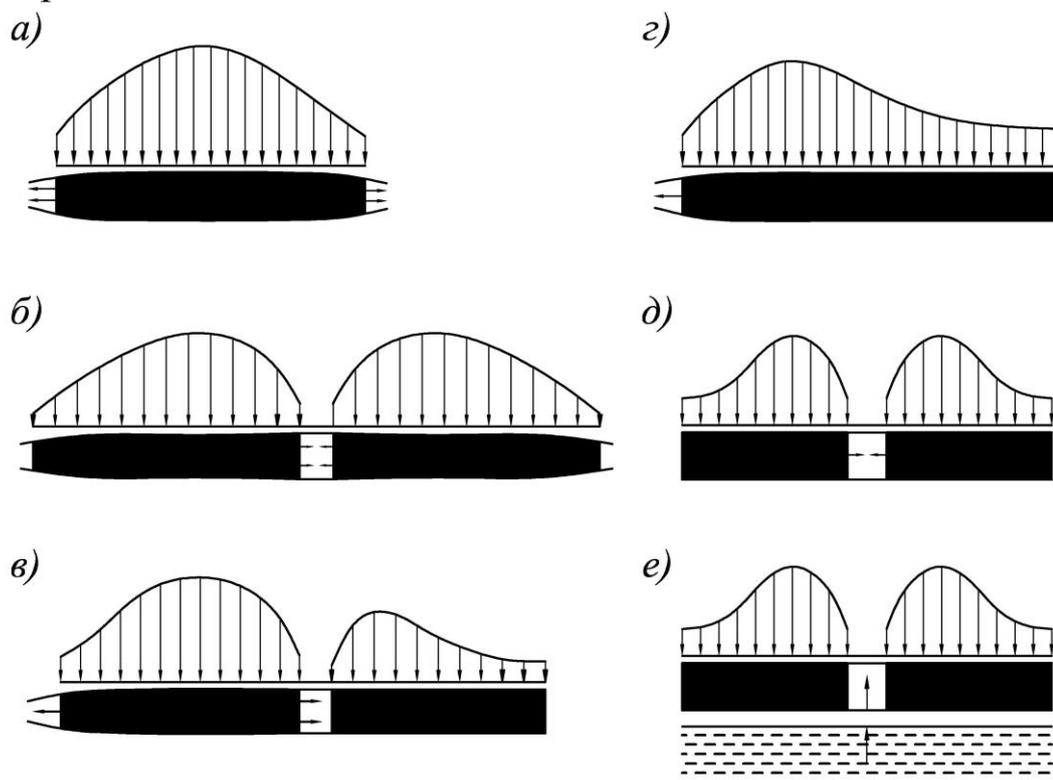


Рис. 9.3. Классификация горных ударов по месту проявления на основе схем нагружения участков угольного пласта [155]

Кратко рассмотрим характер проявления горных ударов по месту их проявления для всех семи групп.

1. Горные удары в сплошных целиках. Они проявляются при отработке малых целиков, которые с 2-4 сторон ограничены выработками.

Отличительные особенности ударов рассматриваемой группы: большая разрушительная сила, вызывающая дробление угля с образованием больших масс тончайшей пыли, располагающейся у контактов с боковыми породами; значительное сближение боковых пород в момент удара (измеряемое иногда десятками сантиметров); образование щели над частью или над всем целиком, подвергшимся горному удару; сотрясение массива горных пород, проявляющееся как землетрясение с силой в 3-5 баллов в районе до 5-10 км от места удара.

Большая сила проявления этих ударов обусловлена тем, что целики, зажатые и защемленные породами кровли и почвы, имеют повышенную сопротивляемость горному давлению и вследствие этого повышенный запас потенциальной энергии в ядре. Целик и прилегающий к нему массив горных пород находятся в предельно напряженном состоянии.

Наиболее сильные удары этой группы при прочих равных условиях возникают в целиках, окруженных выработанным пространством со всех сторон.

2. Горные удары в целиках, прорезанных выработками, весьма многочисленны. Основное разрушение целиков при таких ударах происходит в сторону охраняемых ими горных выработок почти при полном отсутствии выброса угля в сторону выработанного пространства. В данном случае разрушение краевой части пласта, начавшись у стенки горной выработки, распространяется в глубь целика до тех пор, пока выработка не будет на всё (или почти всё) сечение заполнена разрушенным и выброшенным углем. Дальнейшее развитие удара локализуется. Величина сближения боковых пород невелика и обычно не превышает нескольких сантиметров. При ударах рассматриваемой группы также происходит сильное пылеобразование и сотрясение горных пород, особенно при крупных горных ударах, распространявшихся в отдельных случаях до 150-235 м вдоль выработки. Около кровли пласта образуются щель, прослеживающаяся вглубь массива. Существенного нарушения боковых пород, как правило, не происходит.

3. Горные удары в целиках, отделенных от массива угля горными выработками характеризуются тем, что разрушение пласта обычно не распространяется в массив угля, а локализуется в пределах целика. Разрушение и выброс угля с наибольшей силой происходят в направлении от выработанного пространства и сопровождаются, как правило, полным завалом выработки, отделяющей целик от массива угля. Наиболее многочисленны удары в целиках угля, возникающие

при подходе очистных работ к передовым выработкам. В этом состоит главная опасность применения столбовых систем разработки.

4. Горные удары в краевой части угольного массива чаще всего происходят при ведении очистных работ. Наиболее опасными местами в лавах при нисходящем порядке отработки этажей при прочих равных условиях являются: средняя часть лавы, если работы ведутся с оставлением целиков угля в районе вентиляционного горизонта; верхняя часть лавы, если работы ведутся без целиков; нижняя или верхняя часть лавы, если имеются передовые штреки, проведенные по углю.

Свыше 90% горных ударов рассматриваемой группы происходит непосредственно в период выемки угля в забое. Вероятность и сила проявления горных ударов в период внедрения в уголь тем больше, чем больше ширина захвата комбайна, канатной пилы или глубина и число одновременно взрывааемых шпуров при буровзрывном способе выемки угля.

5. Горные удары в выработке, проведенной в угольном массиве, возникают лишь в наиболее сложных условиях нагружения, когда, например, выработка проводится на выработанное пространство, в районах, расположенных под или над границами влияния целиков или краевых частей массива угля соседних пластов и пр. Вместе с тем практически во всех случаях проведение выработки сопровождается многочисленными проявлениями толчков и часто даже микроударов. Но поскольку они совпадают, как правило, с моментом взрыва зарядов в шпурах, то эти толчки и микроудары не представляют опасности и подчас остаются незамеченными. В отдельных случаях регистрируется лишь повышенная эффективность взрывных работ, при которой коэффициент полезного действия шпуров нередко становится больше единицы.

Отметим некоторые общие черты горных ударов при проведении выработок по мощным пластам угля:

-подавляющее большинство горных ударов происходит в момент взрыва зарядов в шпурах или при рассечке ниш, камер, расширении и перекреплении выработки;

-направление развития разрушения определяется местоположением выработки относительно боковых пород и отдельных пачек угля, имеющих различные механические свойства. При прочих равных условиях разрушение обычно распространяется вверх;

-крепь оказывает существенное влияние на локализацию горного удара и на направление его развития: часто нарушение горной выра-

ботки происходит со стороны почвы вследствие отсутствия крепи с этой стороны выработки;

-горные удары чаще всего возникают непосредственно в забое горной выработки. Это наиболее характерно для случаев, когда в проявлении ударов принимает участие газ.

6. Горные удары в выработках с разрушением боковых пород. К таким ударам относятся внезапные разломы боковых пород в выработках, проведенных по пласту угля.

Во всех случаях горных ударов, связанных с разрушением прочной плиты песчаника толщиной до 2,5-3,5 м, плита эта в почве выработки подстилается слоем менее прочных пород, представленных сланцами или пластом угля общей мощностью около 3-4 м. При большой глубине разработки в результате очень высокой напряженности массива горных пород в окрестности выработки сланцы или пласт угля начинают выдавливаться в сторону выработки и выгибают в ту же сторону, встречающуюся на их пути жесткую плиту песчаника. При определенной ширине выработки плита песчаника, находясь в сложном напряженном состоянии сжатия с изгибом, разрушается. Так как кварцевые песчаники могут накапливать в достаточно больших количествах энергию упругих деформаций и склонны к хрупкому разрушению, то разлом плиты происходит мгновенно, с сильным сотрясением окружающих пород и сильным звуковым эффектом.

7. Горные удары при проведении выработок по песчаникам проявляются в большинстве случаев в виде внезапных разломов, происходящих в стенках выработок. Отдельные случаи небольших горных ударов при проведении полевых штреков по кварцевым песчаникам, имеющим временное сопротивление сжатию до 1500-2500 кгс/см, имели место в Кизеловском бассейне.

Согласно существующим представлениям, механизм горного удара состоит в следующем. Горный удар может произойти лишь в том случае, когда скорость деформирования, вызванного нарастанием удельного давления, превысит максимально возможную скорость пластического деформирования породы (угля), находящейся в предельно напряженном состоянии [155-158].

Характер поведения пород или угольного пласта с точки зрения удароопасности в условиях сложного напряженного состояния оценивают показателем хрупкости

$$N = \frac{V_i}{V_{\dot{i}}} \quad (9.3)$$

где V_i - скорость изменения напряженного состояния на данном участке пласта угля (породы), $V_{\dot{i}}$ - предельная (максимальная) скорость релаксации напряжений на данном участке пласта.

Хрупкое разрушение, а, следовательно, и проявление горного удара, возможно лишь при $N > 1$.

Горный удар происходит в результате нарушения равновесия всей системы «боковые породы-уголь-выработка». При этом характер и особенности поведения отдельных элементов этой системы и их взаимодействие в формировании и проявлении горного удара заключаются в следующем.

При нарушении равновесия системы «боковые породы-уголь» происходит толчкообразное выталкивание области В (рис. 9.4).

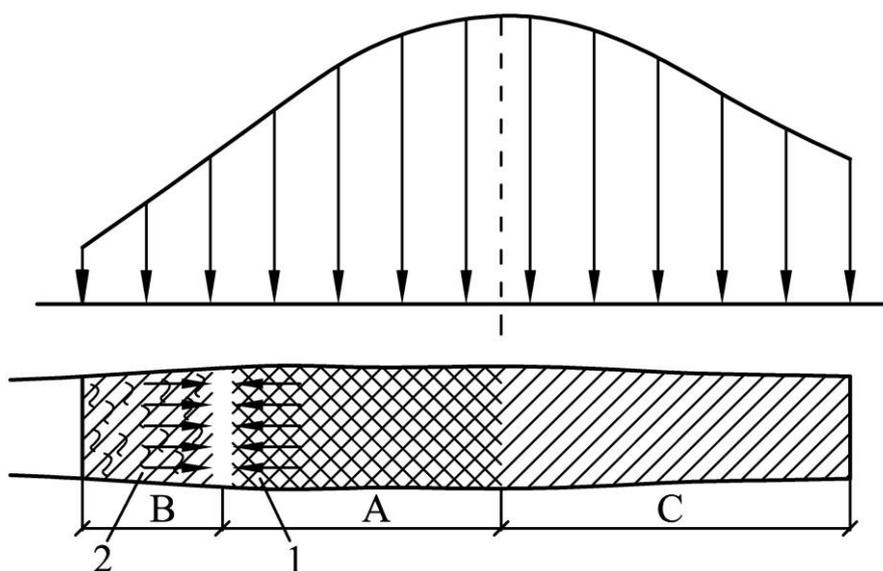


Рис. 9.4. Схема, иллюстрирующая состояние краевой части угольного пласта: А - область с повышенными скоростями пластического деформирования; В - область с пониженными предельными скоростями пластического деформирования; С - область с упругим состоянием угля;
1 - положение зоны опорного давления и разгрузки до горного удара,
2 - после удара

Такое толчкообразное деформирование представляет собой последовательные нарушения и восстановления равновесия между внутренним высоким давлением ядра, находящегося в псевдопластическом состоянии, и сопротивлением этому давлению периферийной части целика

или края массива угля вследствие наличия трения по контактам и заземления пласта боковыми породами. Область *B* сдвигается в сторону выработанного пространства на несколько большую величину, чем это необходимо для установления статического равновесия. Это обусловлено тем, что сила трения при скольжении меньше, чем сила трения покоя.

В результате выталкивания области *B* происходит резкое и мгновенное снижение бокового отпора в части или во всей области *A*, что приводит к мгновенному возрастанию величины показателя хрупкости. Во всей области *A* или в ее части создаются условия для хрупкого разрушения угля. При этом накопленная пластом и боковыми породами потенциальная энергия упругого сжатия переходит в кинетическую энергию, которая способствует дальнейшему выталкиванию области *B*. Кроме того, возникающие в пласте силы в результате увеличения его объема при деформировании в условиях сложного напряженного состояния также способствуют выталкиванию области *B*. Когда выталкивающих сил достаточно, область *B* перемещается непрерывно, а лавинообразный процесс разрушения в области *A* перерастает в горный удар. Если же после толчкообразного выдавливания области *B* хрупкое разрушение претерпит только незначительная часть области *A*, то на этом может и закончиться процесс, т.е. произойдет горный удар в виде толчка.

В процессе удара накопленная боковыми породами энергия упругого сжатия проявляется своеобразно. В момент разрушения пласта угля в области *A* происходит мгновенное расширение ранее сжатых боковых пород, прилегающих к очагу разрушения. Расширение пород проявляется как колебание (рис. 9.5) по быстро убывающему закону и вызывает измельчение угля на контактах до пылеобразного состояния.

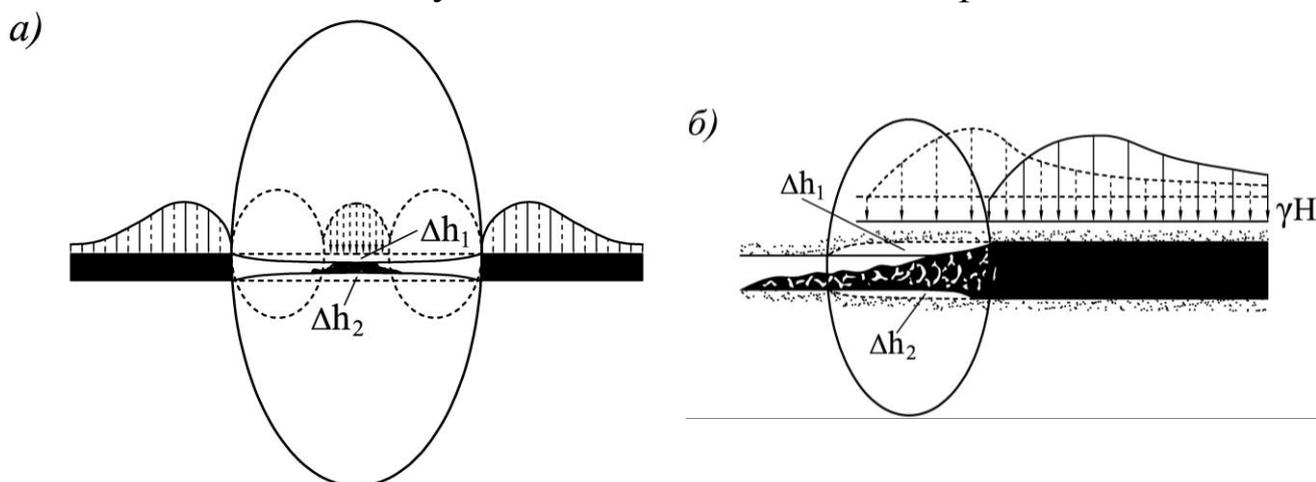


Рис. 9.5. Участие боковых пород в проявлении горных ударов:

а) в целике; в) в очистном забое; Δh_1 и Δh_2 – соответственно смещения кровли

и почвы в результате упругого расширения массива горных пород

Следует отметить еще одну особенность влияния колебаний боковых пород на интенсивность разрушения угля. При мгновенном ударе боковых пород разрушающийся угольный пласт в силу инерции сжимается больше, чем фактически сближаются боковые породы. Вследствие этого после горного удара между углем и кровлей обычно возникает щель высотой от несколько сантиметров до 0,5 м и глубиной несколько метров. При разрушении отдельных целиков угля щель образуется по всей площади целика. Участие волн разгрузки боковых пород здесь особенно велико. В изолированных целиках проявляются наиболее крупные горные удары.

Механизм проявления горного удара следует рассматривать как совокупность процессов не только следующих один за другим через очень малые промежутки времени, но и протекающих параллельно. При этом обеспечивается такое взаимодействие процессов, при котором один из них создает условия для ускорения или усиления другого.

Удароопасность угольного пласта, при прочих равных условиях, возрастает на участках однородного прочного угля, обладающего высокими упругими характеристиками, с непосредственной кровлей (почвой), представленной прочными породами большой мощности, при пологом залегания на средних и больших глубинах со сложным тектоническим строением.

Сходство между горными ударами и внезапными выбросами угля и газа в том, что они являются результатом сложного взаимодействия горнотехнических и горно-геологических факторов.

Наиболее существенными различиями между внезапными выбросами угля и газа и горными ударами является то, что газ не принимает активного участия в развязывании и протекании горного удара. На газоносных пластах горный удар лишь сопровождается усиленными газовыделением. При этом выбросоопасные и удароопасные пласты существенно отличаются по структуре и физико-механическим свойствам.

Основным условием успешной борьбы с горными ударами является своевременное осуществление профилактических мероприятий.

Обычно на шахтах, отрабатывающих удароопасные пласты, для прогноза и выбора эффективных мер борьбы с горными ударами создаются специальные службы прогноза.

Основные принципы безопасного ведения работ на шахтах, отрабатывающих удароопасные пласты, в основном, сводятся к следующему:

1) снижение горного давления на угольный пласт или на его участки путем применения опережающей отработки защитных пластов, ведения горных работ без сокращения проведения выработок впереди очистных работ, исключения встречных и догоняющих забоев;

2) снижение способности краевых частей угольного пласта, прилегающих к выработкам, к упругому деформированию и накоплению больших запасов потенциальной энергии путем изменения их физико-механических свойств камуфлетными взрывами, нагнетанием воды, бурением разгрузочных скважин;

3) защита людей и горных выработок от последствий горных ударов путем выкладки бутовых полос и костров, применения податливой металлической арочной или кольцевой крепи, установки податливых щитов, применения специального режима ведения горных работ, отказа от использования особо опасных по горным ударам выработок, дистанционное управление выемочными механизмами;

4) управление процессом хрупкого разрушения угля для предотвращения вредного проявления горных ударов путем подбора оптимальных способов и средств выемки угля, параметров и режима их применения, частичного снижения степени удароопасности краевой части пласта.

В условиях конкретных шахт могут осуществляться различные комбинации этих главных принципов.

Мероприятия по борьбе с горными ударами при ведении горных работ на рудниках состоят в следующем. Меры борьбы с горными ударами на рудниках в принципе не отличаются от применяемых на угольных шахтах, хотя имеются некоторые особенности в их практическом использовании. С учетом этих различий основными мерами борьбы с горными ударами при разработке рудных месторождений являются:

1) снижение горного давления путем планомерного ведения работ широким фронтом с общим развитием их в направлении от выработанных пространств к массиву руды с минимальным числом выра-

боток в массиве руды, размещением выработок в закладочном массиве; в тех же целях снижения давления не следует оставлять целики, необходимо применять опережающую разработку защитных рудных тел или создавать искусственные полости в массиве горных пород;

2) снижение способности краевых частей руды и пород, прилегающих к выработкам, к упругому деформированию и накоплению больших запасов потенциальной энергии путем изменения их физико-механических свойств камуфлетным взрыванием или другими способами, выбора мест расположения, размеров и формы сечения выработок с учетом использования макроструктуры пород для облегчения их псевдопластического деформирования в окрестности выработки;

3) защита людей и выработок от последствий горных ударов путем придания выработкам наиболее устойчивой формы сечения, проходки специальных разгрузочных щелей, применения предохранительных щитов, выбора оптимального режима ведения работ, отказа от использования опасных выработок;

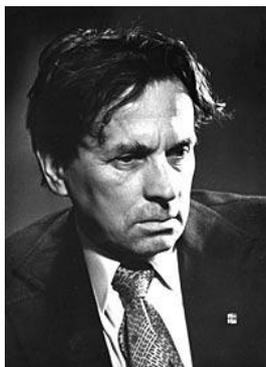
4) управление процессом хрупкого разрушения руды и породы в целях предотвращения вредного проявления горных ударов и использования потенциальной энергии для разрушения руды и породы; для этого места расположения горных выработок и направления их проходки выбираются с учетом естественного поля напряжений в нетронутом массиве и степени удароопасности пород и руд;

5) создание на рудниках научно обоснованной службы прогноза степени удароопасности отдельных пород и руды и оценки применяемых мер борьбы с ударами; при этом используются способы прогноза, основанные на эффекте раскалывания кернов на диски и на непосредственном измерении напряжении методом разгрузки.

Перечисленные меры уже сейчас в известной степени могут и должны использоваться при проектировании глубоких рудников, являющихся потенциально удароопасными.

Биографическая справка

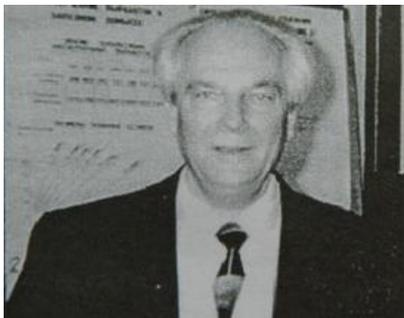
1. Абрамов, Федор Алексеевич (1904-1982) – известный ученый в области горной науки. Создал научные основы переходных аэрогазодинамических процессов в вентиляционных сетях. Исследовал механизм выбросов угля,



породы, газа и предложил ряд способов их предотвращения.

2. Христианович, Сергей Алексеевич (1908-1984) – известный советский ученый в области механики. Разработал теорию разрыва пласта, внес вклад в теорию трещинообразования в твердых телах.

3. Зорин, Андрей Никитич (1933-2003) – известный ученый в области геомеханики. Автор научных открытий в области горной науки и медицины. Внес большой вклад в разработку теории газодинамических явлений. Основные труды по теории устойчивости подземных выработок, механике разрушения горных пород, управлению состоянием породного массива.



Контрольные вопросы и задания

1. Какие существуют динамические проявления горного давления?
2. Сформулируйте определение явления внезапного выброса угля и газа?
3. Каковы отличительные признаки внезапного выброса угля и газа?
4. Что представляет собой уголь, как физическая структура?
5. Какие причины способствуют возникновению внезапных выбросов?
6. В чем состоит суть энергетической теории внезапных выбросов, сформулированной В.В. Ходотом?
7. В чем кроется причина внезапных выбросов по представлениям И.М. Петухова и А.М. Линькова?
8. Каков механизм возникновения выбросоопасной ситуации по И.В. Николину?
9. Какие существуют методы прогноза газодинамических явлений?
10. Чем отличаются газодинамические явления от динамических?
11. Какие методы прогноза газодинамических явлений наиболее эффективны?