

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 622.831.322

В.С. Зыков

ФАКТОРЫ И СВОЙСТВА ГОРНОГО МАССИВА, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ВИД ОПАСНОСТИ ПО ГЕОДИНАМИЧЕСКИМ ЯВЛЕНИЯМ

Одним из основных видов опасности, возникающих с углублением горных работ на угольных шахтах, является опасность по геодинамическим явлениям (ГДЯ). Возникновение и развитие геодинамических явлений формируется под влиянием природных и технологических факторов. Природные факторы определяют предрасположенность горного массива к геодинамическим проявлениям или, другими словами, его потенциальную опасность по этим явлениям. Возможность реализации этой опасности зависит от технологических факторов.

Изменяя технологию и параметры ведения горных работ, можно изменять и степень геодинамической опасности забоя выработки. Применяя специализированную технологию, включающую способы приведения опасных по ГДЯ зон в неопасное состояние, можно вообще исключить проявление в выработке геодинамической опасности.

К природным факторам относятся горное давление, гравитационные силы, газодинамические характеристики угольного пласта и вмещающих его пород, свойства полезного ископаемого. Проявление природных факторов геодинамической опасности зависит от горнотехнических параметров проведения выработки, основными из которых являются глубина разработки, размеры выработки, скорость и равномерность подвигания забоя.

Под влиянием этих факторов формируются активные силы, стремящиеся нарушить равновесное состояние горного массива, и пассивные силы, препятствующие развитию динамического явления. Активными являются силы газового и горного давления, пассивными – силы сопротивления угля разрушению. При проведении наклонных выработок на соотношение активных и пассивных сил оказывают влияние гравитационные силы, изменяя его в ту или другую сторону.

Долей участия в ГДЯ каждого из факторов определяется его тип [1].

Роль газового фактора возрастает в ряду геодинамических явлений: горный удар – обрушение (высыпание) угля – внезапный выброс газа с разрушением вмещающих пород – внезапный выброс газа из угольной пачки за контуром выработки – внезапный отжим угля с повышенным газовыделением – внезапный выброс породы и газа – вне-

запный выброс угля и газа – внезапный прорыв газа из зоны геологического нарушения – суфляр. Роль горного давления в этом ряду, наоборот, уменьшается от первого явления к последнему, за исключением обрушения (высыпания) угля, реализация которого в соответствующих условиях определяется, в основном, гравитационными силами.

Во многих случаях применение мероприятий по предотвращению геодинамических явлений, влияя на соотношение активных сил, приводящих к их развязыванию, может изменять вид опасности по динамическим явлениям. Так, например, применяя для борьбы с внезапными выбросами угля и газа создание в призабойном массиве опережающих разгружающих и дегазирующих полос, можно ослабить массив настолько, что произойдет обрушение с высоким газовыделением.

Известны случаи, когда внезапное обрушение угля в призабойной части массива перерастало во внезапный выброс угля и газа. Разрушение прилегающего к забою слоя угля перед внезапным выбросом возможно также в форме горного удара, после которого уже идет характерный для выброса вынос последующих слоев угля газом.

При проведении выработки по угольному пласту нарушается естественное состояние горного массива. В призабойной области уголь, имеющий меньшую прочность, чем вмещающие породы, под давлением, превышающим его несущую способность, переходит в предельно-напряженное состояние, характеризующееся пониженными напряжениями вблизи обнаженной поверхности и концентрацией их на некотором расстоянии от нее.

Для опасного по **внезапным выбросам угля и газа** участка пласта, отличающегося низкой прочностью угля и высокой газоносностью, характерным является наличие ярко выраженной зоны с квазипараллельными забоями элементами массива, значительными объемами свободного газа в трещинах между элементами массива и высокой величиной его давления в непосредственной близости от забоя.

Выполненными в КузГТУ исследованиями [2] установлен возникающий в массиве впереди очистной выработки вследствие низкочастотных колебаний консоли кровли при ее обрушении эф-

фekt «гистерезиса сорбции» метана углем, приводящий к увеличению давления свободного газа в призабойной части пласта. Заполненные свободным газом трещины также подвержены колебательному процессу в результате поочередного расширения (при увеличении активной силы до величины выше пассивной) и сжатия (при падении давления газа в трещине после ее расширения). Причем эти колебания для трещин со значительным зиянием имеют низкие частоты, поскольку процесс их расширения и сжатия обладает значительной инерцией. А значит, в окрестности забоя любой, в том числе подготовительной, выработки происходит процесс «гистерезиса сорбции» метана углем. Существенное значение он может приобретать только в тектонически нарушенных высокогазоносных углях, характеризующихся активными сорбционными процессами. Благодаря частичному восстановлению давления свободного газа за счет «гистерезиса сорбции» сохраняется высокий градиент газового давления в призабойной части массива в нарушенном угле.

В работе [3] говорится об «... особых свойствах выбросоопасных участков (зон) угольного пласта и прилегающего к нему породного массива: они напряжены, причем энергию деформации несут все макро- и микросоставляющие угольно-породного массива. Энергия этих деформаций аккумулируется на всех этапах геологического развития угленосной толщи и сохраняется (не релаксируя) на молекулярном и надмолекулярном уровнях в органической части системы «уголь-газ», а также в окрестностях различного рода дефектов. В результате энергетически насыщенная система при нарушении термодинамического равновесия, обусловленного техногенным воздействием, разрушается, выделяя не только свободный газ, но и газ растворенный и вновь образованный...».

При этом отмечается, что как геотектонические, так и техногенные воздействия на угольный пласт влияют не только на газонапряженно-деформированное состояние пласта, но и стимулируют процессы деструкции межатомных и межмолекулярных связей, что обуславливает появление источников газообразования механохимической природы дополнительно к сорбционным.

Рассмотрим постадийно процесс внезапного выброса угля и газа.

1. Подготовительная стадия.

На данной стадии идет насыщение массива «газодинамической энергией», увеличиваются активные силы в развитых системах трещин. Однако целесообразнее говорить об изменении соотношения активных и пассивных сил в зависимости от удаления от плоскости обнажения x . Это обусловлено тем, что возможность разрушения призабойной части массива определяется отношением активной силы к пассивной в каждой отдельной

системе трещин. Данный момент наглядно продемонстрирован на рис. 1, где показан характер изменения в зависимости от расстояния до забоя x параметров, определяющих газодинамическую устойчивость призабойной части пласта: напряжений в массиве σ , давления газа в пласте P_g , среднего для гидродинамически замкнутых систем трещин значения силы F_a , возникающей за счет давления свободного газа на стенки трещин и направленной в сторону выработки, значения предельной препятствующей ей силы F_n и отношения F_a/F_n . Графики построены для положений забоя до подвигания забоя 1 и положения его после подвигания 2.

2. Смещение слоя угля вблизи плоскости обнажения.

Если забой находится в спокойном состоянии, т. е. никакого физического воздействия на него не оказывается, быстрый отжим практически невозможен, так как для перемещения значительной массы прилегающего к забою угля необходима значительная энергия. В то же время, если активная сила на расстоянии от забоя x несколько превысит пассивную и появится некоторая небольшая потенциальная энергия, то она тут же перейдет в кинетическую энергию за счет мизерного смещения массы угля. Активная сила в результате тут же снизится на небольшую величину ее превышения над пассивной силой из-за увеличения зияния трещин и снижения в них давления свободного газа. Но при этом увеличится десорбция газа в эти трещины, давление газа восстановится, и активная сила вновь превысит пассивную, однако снова произойдет смещение, и она снизится. На практике такой процесс на значительных глубинах при достаточно большом давлении свободного газа в трещинах присутствует в массиве почти всегда. Однако к внезапному выбросу он не приводит.

В. В. Ходот считал [4], что внезапные выбросы (вторая стадия данного явления) могут начинаться при внезапных изменениях напряженного состояния вследствие следующих причин: быстрого внедрения выработки в угольный пласт, истощения несущей способности прочного участка угля в форме хрупкого разрушения, динамической нагрузки на пласт со стороны вмещающих пород. Внезапным выбросам угля и газа могут предшествовать толчкообразные деформации (горные удары внутреннего действия), при которых активизируются сорбционные процессы, повышается давление газа в пласте, вследствие чего начинается и развивается процесс газового дробления угля.

Анализ происшедших выбросов показывает, что почти во всех случаях они начинаются именно в момент внедрения в массив (при отбойке угля в забое, бурении скважин, гидроотжиме и т. д.) и создания новой обнаженной поверхности. В этом случае за счет большого градиента газового и горного давления вблизи обнажения массив обладает высокой потенциальной энергией, которая тут же

реализуется в виде разрушения массива. Отмечаются еще в очень редких случаях «запоздалые» выбросы, когда явление начинается несколько позже процесса отбойки угля (как, например, первый в России внезапный выброс в 1906 г. на шахте «Новая Смолянка»).

При выемке угля на кромке забоя резко изменяется газонапряженное состояние пласта. Забой выработки перемещается из положения 1 в положение 2 (рис. 1). Напряжения на кромке пласта резко возрастают, и под их действием она начинает интенсивно деформироваться и разрушаться, пока напряжения не снизятся до значения, которое может выдерживать частично разрушенный уголь. Как известно, основная часть этих деформаций происходит практически мгновенно, за доли се-

кунды. Кривая напряжений смещается в новое положение, соответствующее другому положению забоя. Давление газа на контакте с обнаженной поверхностью падает до нуля. Но при этом кривая давления газа в призабойной области изменяется медленно, так как довольно медленно газ дренируется в выработку. В течение по крайней мере нескольких минут после перемещения забоя создается очень высокий градиент газового давления. Вблизи забоя активная сила резко возрастает, а пассивная, наоборот, резко снижается. В подготовленном к выбросу массиве в прилегающей к забою части пласта активная сила существенно превысит пассивную силу.

В отличие от подготовительной стадии в данном случае потенциальная энергия, обусловленная

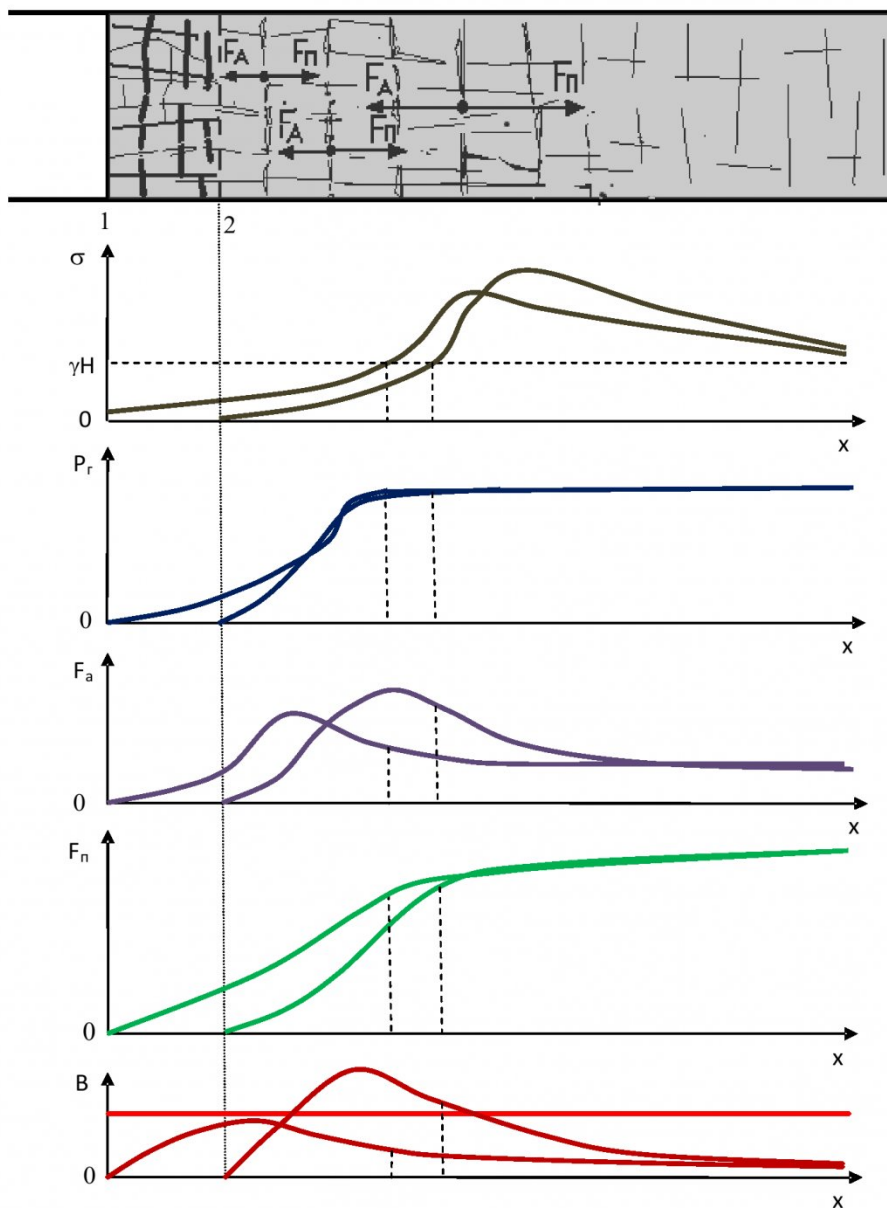


Рис. 1. Изменение напряженно-деформированного состояния пласта в зоне влияния выработки перед внезапным выбросом угля и газа

этим превышением, может быть достаточно большой для того, чтобы переместить угольную массу на значительное расстояние, измеряемое в метрах. В результате смещается слой угля в виде призмы между забоем и какой-либо близкой к нему системой трещин (назовем ее иницирующей внезапный выброс системой трещин), в которой достигнута максимальная величина отношения F_a/F_n . Это смещение индуцируется происшедшими деформациями и разрушением на кромке забоя. Процесс смещения и в значительной степени разрушения угля сопровождается резким увеличением десорбции газа (за счет образования новых обнаженных поверхностей в массиве и увеличения его пустотности).

Вторая стадия осуществляется при условии превышения на каком-либо расстоянии x от обнажения массива активной силы F_a над пассивной силой F_n , т. е. при условии

$$\frac{F_{ax}}{F_{nx}} \geq 1. \quad (1)$$

С учетом основных характеристик газодинамической активности массива это условие может быть записано в виде:

$$\frac{F_{ax}}{F_{nx}} = \frac{P_x S_x \lambda_x \pm \gamma S_x X \sin \alpha}{\prod_x \int_0^x \tau_x d_x} \geq 1 \quad (2)$$

$$W + \mathcal{E} = F + U \quad (3)$$

где W – потенциальная энергия угля, \mathcal{E} – кинетическая энергия горных пород, F – работа, необходимая для смещения угля в сторону забоя, U – работа, необходимая для разрушения угля при внезапном выбросе.

Из описанного механизма внезапных выбросов следует вывод о наибольшей потенциальной опасности по выбросам углей малой прочности. На пластах, сложенных такими углями, фильтрация газа затруднена, в трещинах между элементами массива при высоком давлении газа в пласте создается высокое давление свободного газа. Максимальная равнодействующая сил давления газа в этом случае будет наиболее высокой. Однако, при очень малой прочности угля впереди забоя на значительном расстоянии угольный массив претерпевает сильное разрушение. Разрушенный уголь является защитной зоной, препятствующей развитию внезапного выброса. Кроме того, происходит сильная дезинтеграция угля, не имеющая выраженной направленности, и активные силы не достигнут значительной величины. Таким образом, может наблюдаться невысокая выбросоопасность очень слабых углей. Примером этому является пласт Десятый в Анжерском месторождении Кузбасса, разрабатывавшийся закрытыми ныне шахтами «Анжерская» и «Судженская», на котором, несмотря на его малую прочность (коэффициент прочности по М. М. Протодяконову равен 0,2-

0,5), внезапные выбросы до глубины 700 м не происходили, а наблюдались лишь внезапные высыпания угля с повышенным газовыделением.

При нарушении равновесия в зоне, прилегающей непосредственно к забою выработки, происходит обрушение несвязанного угля, а при наличии достаточно высокого градиента газового давления – внезапный выброс угля и газа.

Нарушение силового равновесия в зоне интенсивного развития квазипараллельных трещин может привести либо к внезапному выбросу, либо к внезапному отжиму угля с повышенным газовыделением. Если нарушение равновесия произойдет в зоне, граничащей с невозмущенным выработкой массивом, где преобладают упругие деформации и накапливается значительная упругая энергия, то при достаточной хрупкости и прочности угля возможен горный удар. При наличии высокого градиента газового давления и достаточно большой начальной скорости газоотдачи угля он может перерасти во внезапный выброс угля и газа.

В восстающих выработках гравитационные силы увеличивают активную силу. В этом случае возрастает опасность развязывания внезапных выбросов угля и газа, внезапных выдавливаний и внезапных обрушений (высыпаний) угля с повышенным газовыделением. В нисходящих выработках по падению наклонных и крутых пластов, наоборот, опасность этих явлений снижается. Так, например, в скатах на крутых пластах внезапные выбросы не наблюдались, были лишь внезапные отжимы угля. Что касается внезапных обрушений (высыпаний) угля, то их проявление определяется почти всецело воздействием гравитационных сил при низкой прочности угля и наличии нависающего незакрепленного угольного массива.

Внезапные выбросы породы и газа инициируются динамическими пригрузками от взрывных работ. Взрывной импульс дополнительно к статическим напряжениям создает динамические нагрузки и приводит к мгновенному отрыву слоя породы от массива. Процесс сопровождается деформациями пород и перераспределением напряжений вокруг выработки. После отрыва породы контур выработки под действием импульса и сил упругого восстановления начинает перемещаться. Непосредственно у вновь образованного забоя появляется зона растягивающих напряжений, за которой следует область сжатия. При превышении прочности породы на разрыв или сжатие создаются условия для внезапного разрушения породы – выброса, которое происходит под совместным действием нормальных и касательных напряжений и давления сжатого газа. Под воздействием растягивающих напряжений происходит отрыв, а под воздействием касательных напряжений – скалывание породы в виде пластинок. При этом газ создает дополнительные растягивающие напряжения.

Проявление **горных ударов** характерно для

определенного сочетания геологических и горно-технических факторов. Удароопасные угольные пласты отличаются способностью разрабатываемого угольного массива к упругому деформированию и хрупкому разрушению силами горного давления. Возникновение удароопасности зависит от условий формирования в краевой части массива области предельного напряженного состояния. Предельная скорость пластического деформирования массива возрастает с углублением в массив. На краю массива эта скорость имеет минимальное значение, поэтому пластическое деформирование здесь возможно лишь при постоянных или очень медленно изменяющихся нагрузках. В иных случаях при превышении несущей способности массива происходит хрупкое разрушение массива в виде горного удара.

Чем больше создается величина градиента напряжений, тем удароопаснее становится ситуация. На этом положении основан разработанный ОАО «ВНИМИ» метод установления степени удароопасности по вдавливанию пуансона в торец скважины, пробуренной из забоя в область максимальных напряжений. Показатель удароопасности представляется в этом случае в виде:

$$D_y = \frac{\Delta P}{x}, \quad (4)$$

где ΔP – разность максимальных и минимальных усилий вдавливания пуансона; x – расстояние от забоя до области максимальных напряжений.

Данный принцип положен в основу расчетного метода определения показателя удароопасности D_y [8], который находится из выражения:

$$D_y = \frac{K_k \gamma H - \sigma_z}{x_{cp}^0}, \quad (5)$$

где K_k – коэффициент концентрации напряжений; γH – напряжения на глубине разработки H , МПа; σ_z – напряжения на линии забоя, МПа; x_{cp}^0 – расстояние от забоя до области максимальных напряжений, м. При $D_y \geq 10$ массив является удароопасным, при $D_y < 10$ – неудароопасным.

При этом горный удар возможен при превышении скорости изменения напряженного состояния V_n над максимально возможной скоростью перехода массива в предельное состояние за счет пластического деформирования в данной точке $V_{нл. пред}$, то есть при условии [9]

$$N = \frac{V_n}{V_{нл. пред}} \geq 1. \quad (6)$$

При горном ударе разрушение происходит, главным образом, под действием касательных напряжений, поэтому разрушение массива идет, в основном, вблизи его обнажения. Горный удар обычно является одноциклическим явлением, происходящим в течение 1-3 сек, в отличие от внезапного выброса, время протекания которого составляет от 10 секунд до минуты. Тем не менее, горный удар, как и выброс, представляет собой

лавинообразный процесс. Это обусловлено взаимодействием процессов, при которых одни из них создают условия для ускорения или усиления других. Коэффициенты трения уменьшаются не только при переходе от покоя к движению, но с увеличением нагрузки, а также с увеличением скорости движения при больших нагрузках и с уменьшением – при малых нагрузках. В процессе явления изменяются условия заземления призабойной части массива вследствие сильного сближения пород при их разгрузке.

Накопленная горными породами упругая потенциальная энергия участвует в дополнительном разрушении пласта, если он хотя бы частично вышел из-под нагрузки в результате хрупкого разрушения.

Внезапные отжимы угля с повышенным газовыделением могут рассматриваться как не развившиеся до заключительной стадии внезапные выбросы угля и газа. Поэтому их механизм является сокращенным механизмом внезапного выброса угля и газа. В этом случае присутствуют подготовительная стадия, стадия смещения слоя угля между забоем и инициирующей газодинамическое явление развитой системой трещин и стадия остановки разрушения.

Обрушение (высыпание) угля представляет собой падение под действием собственного веса и в некоторой степени горного давления и давления газа угля тектонически нарушенной структуры. Реализоваться это явление может, если имеется незакрепленное обнажение угольного пласта площадью, превышающей допустимую для данной степени нарушенности угля величину. Механизм явления очевиден и особых объяснений не требует. Если вес теряющей связь с массивом части пласта превышает результирующую сил сцепления, то происходит ее обрушение.

Довольно частыми ГДЯ на горных предприятиях являются **суфляры**. Различаются два типа суфляров [10]. Первый тип представляет собой суфляры геологического происхождения. Они обусловлены ведением горных работ в зоне тектонических нарушений.

Второй тип представляет собой суфляры эксплуатационного происхождения. Они являются результатом выделения метана из трещин и пустот, возникших в результате сдвижения пород при ведении горных работ и заполненных газом, поступающим из смежных пластов угля и других источников в результате их частичной разгрузки от горного давления.

Суфляры эксплуатационного происхождения в зонах тектонических нарушений могут проявляться после того, как вскрытый на нарушенном участке пласт будет подработан и разгружен от горного давления. В этом случае происходит раскрытие трещин, и они становятся проводниками газа из смежных угольных пластов и пород, как из кровли, так и из почвы пласта.

Возможность суфляров предопределяется наличием хрупких пород – песчаников, алевролитов, известняков – между разрабатываемым пластом и источником метана. В том случае, если междупластье сложено глинистыми породами, то участок пласта, даже при наличии мелких тектонических нарушений, можно считать не опасным по суфлярам. В зонах влияния крупных дизъюнктивных нарушений суфляры возможны при любом литологическом составе пород.

Внезапные прорывы газа из зоны геологического нарушения отличаются от суфляров высокой динамичностью и кратковременным протеканием явления вследствие высокого давления в зоне геологического нарушения, но относительно небольших запасов газа.

Внезапные прорывы газа из нижележащей пачки угля обусловлены теми же факторами, что и внезапные выбросы угля и газа. Однако вследствие того, что потенциально выбросоопасная угольная пачка находится за пределами выработки, формы их протекания имеют отличия. На подготовительной стадии внезапного прорыва под воздействием давления свободного газа, возрастающего при отбойке угля и вибрационном воздействии комбайна на потенциально выбросоопасную пачку, образуются трещины, квазипараллельные почве выработки. Затем происходит деформирование и разрушение под давлением газа в образовавшихся трещинах прочного слоя угля между этой пачкой и почвой выработки. На следующей стадии явления газ прорывается в выработку и приводит к ее загазованию. Однако через узкие щели в прочном угле выброса тектонически нарушенного угля не происходит. Постепенно запасы газа в нарушенной пачке иссякают и явление прекращается.

Данные явления очень опасны, так как большое количество выделяющегося газа создает

опасность вспышки или взрыва метана и катастрофических последствий. Очень сильным является динамическое воздействие разрушающейся и резко поднимающейся на протяжении до 15 м почвы выработки.

Внезапные выбросы газа с разрушением вмещающих пород, как и внезапные выбросы угля и газа, представляют достаточно сложные явления, происходящие в несколько стадий [10]:

1. Подготовительная стадия. Образуются полости расслоения в надработанной (подработанной) толще на контакте малопрочных пластов с более прочными вмещающими породами.

2. Заполнение полостей расслоения газом, выделяющимся из угольных пластов и вмещающих пород.

3. Быстропротекающее разрушение надработанной части массива с образованием в нем трещин с поднятием, при разрушении почвы, подошвы выработки.

4. Интенсивное выделение газа (иногда с водой) через возникшие трещины, приводящее к загазованию выработки, а иногда к опрокидыванию вентиляционной струи.

5. Снижение газовыделения и остановка явления вследствие исчерпания запасов газа в полостях расслоения.

Эти опасные явления возможны при достижении глубин с газоносностью угольных пластов 12 м³/т сухой бензольной массы и давлением газа 0,6 Мпа и наличии в пластах пачки тектонически нарушенного угля, обладающего повышенной начальной скоростью газоотдачи – способностью при разгрузке от горного давления к переходу сорбированного углем метана в свободное состояние быстро и в значительных объемах.

Такие потенциально опасные пласты-спутники залегают по отношению к разрабатываемому пласту на расстояниях, при которых про-

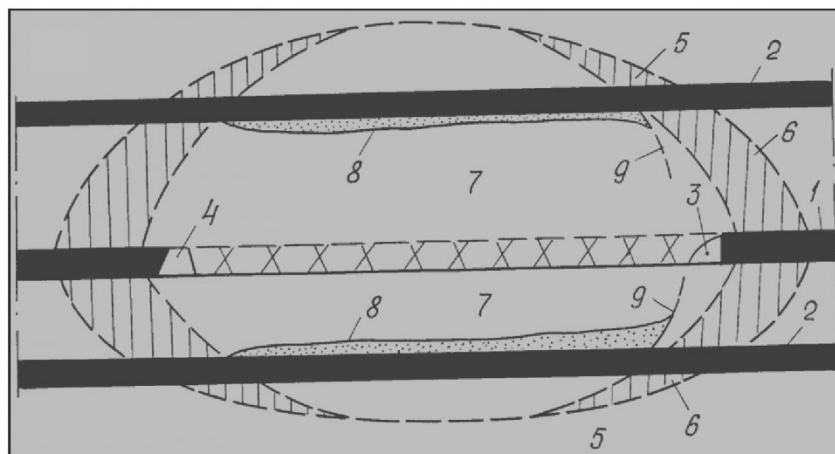


Рис. 2. Схема развязывания внезапного выброса газа с разрушением вмещающих пород: а – образование газонаполненных полостей разгрузки; б – положение трещин прорыва; 1, 2 – разрабатываемый пласт и пласты-спутники; 3, 4 – забой лавы и монтажная камера; 5, 6, 7 – зоны статического опорного давления и разгрузки; 8 – газонаполненные полости-коллекторы; 9 – трещины прорыва

является эффект их защитной под- или надработки, заключающийся в разгрузке от горного давления до такого состояния, когда за счет упругого восстановления ранее сжатого угольного пласта его газопроницаемость и газоотдача значительно возрастают и создают условия для накопления больших объемов свободного метана под давлением в щелевых полостях-коллекторах в виде трещин расслоения по контакту угольного пласта с породами междупластья или внутри пласта между пачками тектонически нарушенного и прочного угля (рис. 2).

Явления происходят в период движения очистного забоя под- и над выбросоопасной зоной. Они реализуются, как только появляются каналы (трещины) прорыва, сообщающие газонаполненные полости-коллекторы с выработанным пространством разрабатываемого пласта. Газонаполненная полость прорастает по направлению движения забоя не только за счет разгрузки от горного давления, но также и давления газа в полости, создающего большие разрывные усилия на кромке (острие) щелевой полости. Обогнать забой разрабатываемого пласта полость не может, т. к. на ее

пути возникает силовая преграда – зона опорного давления, где массив уплотнен за счет повышения напряжений до 1,5-2,0 величины первоначального статического горного давления. По мере удаления от створа опор – краевых частей обнаженного выемкой угольного массива эта зона постепенно выклинивается над- и под выработанным пространством. Встретив на своем пути указанную силовую преграду, газонаполненная полость стремится изменить направление движения и при определенных условиях начинает внедряться в массив вдоль этой преграды (в сторону выработанного пространства разрабатываемого пласта). Если мощность пород междупластья меньше критической из условий прорыва газа $m_{кр}$, образуется щелевой канал прорыва в выработанное пространство (рис. 3).

Опорное давление возникает не только впереди забоя лавы, но и сбоку от нее. В результате трещины прорыва образуются в районе внутреннего угла лавы, ограниченного массивами угля с двух взаимно перпендикулярных сторон. Вероятность прорыва возрастает с увеличением хрупкости пород междупластья. Роль зоны опорного дав-

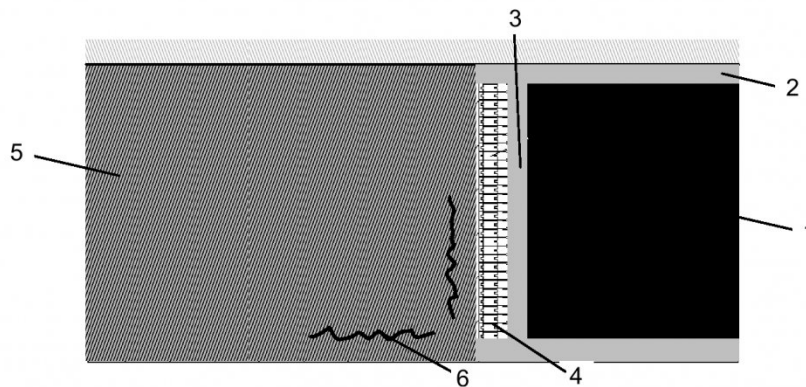


Рис. 3. Образование трещин прорыва при внезапном выбросе газа с разрушением вмещающих пород: 1 – отработываемый пласт; 2 – оконтуривающие лаву выработки; 3 – призабойное пространство очистной выработки; 4 – механизированная крепь; 5 – отработанная часть выемочного столба; 6 – трещины прорыва

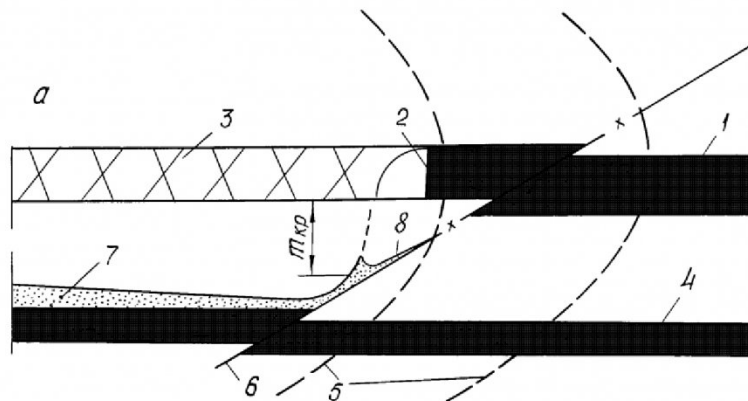


Рис. 4. Влияние дизъюнктивного нарушения на реализацию опасности прорыва газа: 1 – отработываемый пласт; 2 – забой лавы; 3 – выработанное пространство; 4 – пласт-спутник; 5 – границы зоны опорного давления; 6 – сместитель дизъюнктива; 7 – газо-наполненная полость; 8 – трещины прорыва

ления как силовой преграды, изменяющей направление распространения газонаполненной полости-коллектора, тем выше, чем больше коэффициент концентрации опорного давления в точке максимума (на гребне движущейся волны давления). Этот коэффициент возрастает с уменьшением мощности разрабатываемого пласта, увеличением прочности угля, мощности и прочности пород основной кровли (растет консоль зависшей кровли, она всегда больше в нижней части лавы) и скорости подвигания забоя лавы. Такими параметрами характеризуются комплексно-механизированные лавы с высокой интенсивностью добычи угля на пологих пластах средней мощности с труднообрушаемыми породами кровли.

Значительно повышается опасность явления при прочих равных условиях в зонах влияния тектонических нарушений, ослабляющих вмещающие пласт горные породы (рис. 4), а также в зонах ослабленного контакта горных пород, имеющих разные прочностные свойства.

Помимо внезапных прорывов метана из соседних нижележащих пластов происходят необычайно высокие и продолжительные (экстремальные) газопроявления из вышележащих подрабатываемых пластов, попадающих в зоны обрушения и трещинообразования. Они обычно приурочены к моменту первичной посадки основной кровли и имеют источниками как газонаполненные полости разгрузки – коллекторы, так и разрушаемые и смещающиеся вниз блоки угля. Экстремальные газопроявления тем интенсивнее, чем больше угленасыщенность горного массива, тектоническая нарушенность угольных пластов и шаг обрушения пород кровли.

Опасные газопроявления в лавах, связанные с под- и надработкой высокогазоносных пластов и пропластков угля, разделяются на следующие шесть типов:

1 – повышенное равномерное метановыделение из ближайшего вышележащего пласта-спутника при его разламывании на сравнительно мелкие блоки в зоне беспорядочного обрушения;

2 – прорыв метана из газонаполненной полости разгрузки – коллектора у ближайшего нижележащего пласта-спутника по трещинам прорыва эксплуатационного происхождения;

3 – прорыв метана из газонаполненной полости разгрузки – коллектора у отдаленного пласта-

подспутника по трещинам прорыва тектонического происхождения (аналогичную роль может выполнять расположенный диагонально ослабленный контакт вмещающих пород с различными прочностными свойствами при нарушении согласного залегания их слоев);

4 – повышенное неравномерное метановыделение из более отдаленного вышележащего пласта-спутника при его разламывании на крупные блоки в зоне крупноблочного обрушения (пики метановыделения возникают при обрушении основной кровли, а максимальный пик – при первичной посадке основной кровли);

5 – прорыв метана из газонаполненной полости разгрузки – коллектора у залегающего еще выше подрабатываемого пласта-спутника в зоне расчленения по трещинам прорыва эксплуатационного происхождения;

6 – прорыв метана из газонаполненной полости разгрузки у отдаленного пласта-надспутника по трещинам тектонического происхождения.

Газодинамические проявления возможны не только при проведении горных выработок, но и при бурении скважин. Механизмы их сходны с механизмами этих явлений при проведении горных выработок, так как скважина является той же выработкой в массиве, однако имеющей на один-два порядка меньшие размеры, но зато продвигающейся внутрь массива со скоростью на один-два порядка больше. Высокая скорость внедрения скважины в массив вызывает интенсивную газодинамическую реакцию массива, проявляющуюся в виде внезапных выбросов угля и газа в скважины, иногда очень мощных и опасных, а чаще в виде интенсивного выделения газа с выносом штыба (шлама). В скважинах при их бурении в зонах высокой концентрации напряжений, например, в целиках, происходит хрупкое разрушение материала вокруг стенок скважины, которое может быть названо микроударом. Поскольку скважины бурятся в толщу массива, часто впереди забоя выработки, все газодинамические проявления при их бурении помогают прогнозировать заблаговременно вход выработок в опасную по ГДЯ зону.

Учитывая иногда очень мощные и опасные проявления газодинамической реакции при бурении скважин в потенциально опасных участках горного массива, следует применять специальные меры по их предупреждению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зыков В.С., Абрамов И.Л., Торгунаков Д.В. Статистика динамических явлений в шахтах и уточнение их классификации // Горный информационно-аналитический бюллетень (ГИАБ). – 2013. – Отдельный выпуск 6. – С. 297-319.
2. Пузырев В.Н., Балашова Т.А., Алексеев Д.В. О возможном явлении гистерезиса сорбции метана выбросоопасным углем при возбуждении колебаний давления свободного газа // Уголь. – 1993. – № 6. – С. 46-48.

3. *Обухов А. А., Фролков Г. Д., Артемьев В. Б.* Структурно-химическая механика углей метаморфического ряда пластов, опасных по внезапным выбросам угля и газа. – Шахты: Издательство Южно-российского отделения АГН РФ, 2000. – 151 с.
4. *Ходот В. В.* Внезапные выбросы угля и газа. – М.: Госгортехиздат, 1961. – 363 с.
5. *Петросян А. Э., Яновская М. Ф., Иванов Б. М., Крупеня В. Г.* Исследование процессов возникновения внезапных выбросов угля и газа. – М.: Наука, 1978. – 110 с.
6. *Лидин Г. Д.* Опыт классификации необычных выделений газа из разрабатываемого угольного пласта // Труды ин-та горного дела. – М., 1959. – С. 119–140.
7. *Петухов И. М., Линьков А. М.* Механизм развязывания и протекания выбросов угля (породы) и газа // Основы теории внезапных выбросов угля, породы и газа: Сб. науч. тр. – М.: Недра, 1978. – С. 62–90.
8. *Мурашев В. И., Федченко Ю. А.* Внезапные выбросы угля и газа и горные удары на шахтах России. – Кемерово: РИПК, 2001. – 61 с.
9. *Петухов И. М.* Горные удары на угольных шахтах. – СПб.: Наука, 1983. – 238 с.
10. *Мальшев Ю. Н., Сагалович О. И., Лисуренко А. В.* Техногенная геодинамика. Книга 1: Аналитический обзор. Актуальные проблемы. – М.: Недра, 1995. – 430 с.
11. Руководство по предупреждению внезапных загазированиям выемочных участков при прорывах и экстремальных выделениях метана / В. С Зыков, Г. Г. Стекольников, В. Н. Пузырев и др. – Кемерово, 2000. – 36 с. – (НЦ ВостНИИ)

Автор статьи:

Зыков
Виктор Семенович
доктор технических наук,
профессор, зав.лаб. Института угля
СО РАН
Email: zykovvs@icc.kemsc.ru