

- давлением газа в пласте;
- изменением амплитуды и частоты колебаний твердого скелета и жидкости в угольном массиве по мере удаления от источника колебаний;
- величиной и распределением компонент горного давления.

Математическая модель формирования трещин при импульсном нагнетании представлена зависимостями (10) и (11). Ее основная особенность – возможность оценки связи между объемной скоростью колебаний жидкости и давлением на любом расстоянии от источника – устья трещины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полящук А.В. Определение радиуса гидродинамического воздействия через скважину. Механика и разрушение горных пород / ИГТМ НАНУ – Киев.: Наукова думка 1993. – С. 66 – 68.
2. Калфакчиан А.П., Воробьев Е.А., Андреев С.Ю. и др. Вскрытие крутых выбросоопасных угольных пластов / ИГТМ НАНУ – Дн-ск, Січ, 1992. – 150 с.

УДК 622.381.325:532.5.013

Канд. техн. наук **Б.В. Бокий,**

инж. **В.В. Чередников** (АП «Шахта им. А.Ф. Засядько»),

инж. **Е.Г. Барадулня,** асп. **В.Г. Золотин** (ИГТМ НАНУ)

УСЛОВИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ВНЕЗАПНЫХ ВЫБРОСОВ УГЛЯ И ГАЗА

У статті приведено обґрунтування умов застосування гідродинамічного впливу на напружений газонасичений вугільний масив для підвищення темпів проведення підготовчих виробок і навантаження на лаву.

THE CONDITIONS OF THE USE HYDRODYNAMIC INFLUENCES FOR PREVENTION SUDDEN SURGE COAL AND GAS

Motivation of the conditions of the using hydrodynamic influences upon tense gas-saturated coal array for increasing rate conduct of the mountain work is brought in article.

Увеличение глубины разработки угольных пластов влечет за собой повышение выделения метана и интенсификацию возможности развязывания выбросов угля и газа. Тенденция к усложнению горно-геологических условий разработки угольных месторождений имеет постоянный характер. Вследствие этого самая совершенная добычная и проходческая техника не может компенсировать влияние постоянно ухудшающихся горно-геологических условий на технико-экономические показатели работы шахт.

За последние десять лет произошли существенные изменения в оснащении подготовительных работ более совершенной и производительной техникой, однако воспроизводство объема линии очистных работ сдерживается из-за непроизводительной работы проходческой техники, что обусловлено большими затратами времени на выполнение профилактических работ, связанных с выполнением противовыбросных мероприятий.

Добыча угля на пластах, склонных к внезапным выбросам угля и газа, в настоящее время составляет более 30% от всей добычи в отрасли. Более 80% объема подготовительных выработок проводится с применением локальных

способов предотвращения внезапных выбросов угля и газа, что влечет за собой значительное увеличение продолжительности и трудоемкости проходческих работ по сравнению с проходкой в идентичных условиях после выполнения региональных противовыбросных мероприятий.

На сегодняшний день плановые показатели скорости проведения подготовительных выработок по выбросоопасным угольным пластам комбайнами ПК-9Р и 4ПП-2 с применением гидрорыхления составляют не более 120 м/мес., а фактическая скорость не превышает 100 м/мес. В то же время техническая производительность комбайнов при этом используется не более как на 30%. Это говорит о значительных резервах производительности, реализация которых позволит резко улучшить показатели проведения выработок по выбросоопасным угольным пластам. Для обеспечения эффективности применения проходческого комбайна необходимо достигнуть годового объема проходки не менее 1800 м с учетом времени на монтажно-демонтажные работы и ремонт. Такой объем проходки обеспечивается при средней скорости проведения выработки не менее 180 м/мес.

Скорость проведения подготовительных выработок и производительность труда проходчиков за последние 10 лет остались почти на одном уровне. Отсутствие роста производительности труда проходчиков и скорости проведения подготовительных выработок, несмотря на улучшение количества и качества проходческого оборудования, объясняется существенными изменениями горно-геологических и горнотехнических условий, в том числе увеличением глубины ведения работ (более 1000 м) и выбросоопасностью угольных пластов.

Необходимость создания надежного и технологичного способа дегазации угленосного массива для повышения темпов проведения подготовительных выработок и нагрузки на лаву определяется:

- а) увеличением количества выбросоопасных угольных пластов в свитах разрабатываемых угольных месторождений;
- б) возрастанием газоносности и выбросоопасности угольных пластов с ростом глубины ведения горных работ;
- в) повышением интенсивности выбросов;
- г) снижением эффективности существующих противовыбросных мероприятий, несоответствием их технико-экономических показателей возрастающим требованиям производства;
- д) значительным увеличением стоимости, трудоемкости работ и, в целом, сроков подготовки выемочных столбов.

Интенсификация газовыделения из горного массива возможна только при условии изменения его физико-механических свойств активным регулированием физических, упругих, прочностных и фильтрационных свойств угля и пород, а также изменением объема деформируемой среды под влиянием касательных напряжений. При этом изменение объема деформируемой среды сопровождается увеличением дефектности ее структуры, ростом микро- и макротрещин, перераспределением внутренних напряжений и межкристаллического

взаимодействия, соответствующим изменениям свойств пород, их пористости и проницаемости. Причем, эти процессы в горных породах при динамических нагружениях начинаются при более низких напряжениях и развиваются значительно интенсивнее, чем при статических, что свидетельствует о предпочтительности динамических методов изменения свойств горных пород.

Известно, что объемная деформация численно равна приросту свободной поверхности деформируемой среды и определяет изменение ее фильтрационной проницаемости, которое может быть достаточно большим.

В то же время изменение объема деформируемой среды под действием сил горного давления ведет к уплотнению разупрочненного массива, что снижает фильтрационный процесс газа. Поэтому, для исключения отрицательного эффекта необходимо часть разрушенной массы извлекать из массива, чтобы снизить внутренние напряжения. На основе этих положений и создан гидродинамический метод воздействия на напряженные, пористые, газонасыщенные среды.

Степень дегазации угольного пласта, а значит и скорость газовыделения из него, определяется уровнем энергии деструкции природной системы «уголь – метан». Наиболее эффективными в шахтных условиях по уровню энергии деструкции природной системы «уголь – газ» являются два вида технологических воздействий, а именно, силовое (давлением) и импульсное (волновое).

При силовом воздействии в диапазоне от 0,2 до 200 МПа происходит многоступенчатая трансформация структуры угольного вещества, как на микро-, так и на макроуровне, что приводит к образованию разветвленной сообщающейся системы фильтрационных каналов и созданию условий для эффективной дегазации. При силовом воздействии выделяется свободный газ (5-6%), сорбированный на поверхности и в макропорах (8-10%), а так же сорбированный в микропорах (20-25%). Таким образом, при основном воздействии степень дегазации возможна в пределах 33-41%. Поэтому для достижения эффективной дегазации необходимо дополнительное импульсно-волновое воздействие на угольный пласт.

При импульсно-волновом воздействии происходит распад структуры угольного вещества на уровне макропор, микропор, мезопор, сорбционных и суперсорбционных частиц, что позволяет интенсифицировать газоотдачу пласта на 30% и более.

Таким образом, при применении комплексного воздействия на напряженный газонасыщенный угольный пласт циклическим гидродинамическим воздействием возможно достигнуть степени дегазации угольного пласта в пределах 70% и более.

Известно [1], что к внезапным выбросам угля и газа приводит совместное действие горного давления и давления газа в угольном пласте.

Настоящее состояние призабойных зон выбросоопасных угольных пластов, характеризующее действующими в них напряжениями и закономерностями их распределения, определяют запас потенциальной энергии в этих зонах и являются поэтому важнейшим фактором выбросоопасности.

При ведении горных работ происходит перераспределение напряженного состояния угольного пласта в призабойной зоне.

Газодинамические явления, относящиеся к внезапным выбросам угля и газа, происходят при совместном действии сил горного давления и давления газа.

Выброс газа и угольной мелочи происходит под действием газового давления при наличии зоны препарированного угля с повышенным содержанием свободного газа. Явление происходит при участии горного давления, действие которого ограничивается возникновением начальной фазы протекания процесса. Внезапный выброс угля и газа представляет собой лавинонарастающее разрушение угля, сопровождающееся тонким его измельчением и отбросом в потоке расширяющегося газа с динамическим эффектом и образованием характерной полости, границы которой не выходят за границы зоны препарированного угля, имеющей геологическое происхождение.

Доля участия во внезапном выбросе сил давления газа и горного давления составляет от 30 до 70%. Соотношение доли участия сил давления газа и горного давления в развязывании внезапного выброса определяется типом технологии ведения работ. Так, при вскрытии выбросоопасных угольных пластов, влияние газового фактора составляет порядка 70%, а фактора горного давления – 30%. При проведении подготовительных выработок влияние этих факторов при выбросе распределяется примерно поровну, а при ведении очистных работ фактор горного давления влияет на 70%, а газовый фактор – 30%.

В связи с тем, что угольные пласты в большинстве случаев неоднородны, так как состоят из отдельных плачек с различными механическими свойствами и находятся вблизи забоя в двухосном напряженном состоянии, которое по мере удаления от линии забоя переходит в трехосное, напряжение вблизи контура выработки не имеет строгих границ и представляет различные сложные комбинации и схемы. При одинаковом давлении вблизи забоя и на некотором расстоянии от него породы и угольные пласты ведут себя по-разному. При трехосном - приобретают пластические свойства, а при двухосном - только упругие и ведут себя как жесткие тела. В результате этого непосредственно вокруг выработки располагаются зоны сжатия и опорного давления. Они представляют собой предохранительную оболочку против влияния следующей зоны, находящейся в области действия трехосного напряженного состояния за зоной опорного давления и стремящейся восстановить равновесие, нарушаемое проведением горной выработки.

В зоне сжатия вблизи забоя угольные пласты зажаты, вернее, защемлены боковыми породами, так как последние в рабочем пространстве подготовительной выработки стремятся к сближению (кровля – под действием веса выпележащих пород, а почва – вследствие разгрузки), что является причиной смещения сил горного давления и сил сопротивления защемленной части угольного пласта. В результате сложения сил напряжение в зоне опорного давления растет и, как правило, превышает в два и более раз напряжение, вызванное весом выпележащих пород. Таким образом, за зоной опорного

давления происходит концентрация напряжений, в результате чего газопроницаемость угля в зоне опорного давления уменьшается, давление газа растет, а боковые породы имеют высокую потенциальную энергию.

Поскольку до зоны опорного давления угольные пласты находятся в условиях двухосного сжатия с одной стороны действует давление, вызванное весом вышележащих пород, а со стороны массива – боковое давление, общая величина опорного давления будет

$$P_o = P_n + P_{бок},$$

где P_o – опорное давление; P_n – давление вышележащих пород; $P_{бок}$ – боковое давление.

Так как боковое давление зависит от величины угла внутреннего трения угля, то в мягких углях величина опорного давления всегда будет больше, чем в крепких. Так что на величину опорного давления, а, следовательно, и на возникновение выброса, решающее влияние оказывает наименее мягкая пачка угля даже самой незначительной мощности.

Расстояние от забоя до зоны опорного давления для разных пластов имеет различные величины, так для пологопадающих угольных пластов от 3,5 до 20 м, а для пластов крутого падения от 1 до 3 м. Постоянной величины этого расстояния даже в остановленном забое существовать не может, так как зона опорного давления в зависимости от времени перемещается, направление перемещения вглубь массива или в сторону выработки зависит от механических свойств пород и типа крепи подготовительной выработки. Если достаточно мощные боковые породы крепки и в них происходит изгиб, за счет нарастающего поднятия при изгибе в зоне опорного давления крепкого упругого пласта, перемещение зоны опорного давления происходит в сторону выработки, что усугубляет выбросоопасную ситуацию. В породах средней крепости в зоне опорного давления образуются сколовые трещины, секущие и отделяющие боковые породы целыми блоками параллельно линии забоя. В местах образования трещин угольные пласты частично освобождаются, а зона опорного давления перемещается вглубь массива. Об этом свидетельствуют деформации сближения боковых пород, происходящие в зоне постоянно, а при проведении мероприятий по предупреждению выбросов значительно усиливающиеся. Скорость сближения при этом растет.

Угли пластов, опасных по внезапным выбросам, как правило, характеризуются пониженной механической прочностью, слоистостью, рыхлостью, отсутствием явно выраженного кливажа или же представляют собой пачки матового перетертого угля.

Исследованиями методом рентгеноструктурных анализов [2] установлено, что под действием сорбированного метана в веществе угля происходят структурные изменения, которые приводят к разрыхлению молекулярной

упаковки угля, что понижает угол внутреннего трения угля и повышает его пластические свойства.

Натурные наблюдения за смещением угля вблизи забоя [3], показали, что уголь движется в сторону выработки из глубины массива вблизи линии забоя от 5,5 до 7 мм/ч.

На определенных глубинах от поверхности пластическим деформациям подвержены все породы. Согласно Р. Квапиду [4], в сланцевых породах, угол внутреннего трения которых $\gamma = 20^\circ$, пластическое состояние наступает на глубине 18,5 м. Прочная порода с углом внутреннего трения $\gamma = 60^\circ$ приобретает пластическое состояние на глубине до 1000 м. Замечено, что чем мягче уголь и меньше его угол внутреннего трения, тем быстрее происходит его смещение, охватывающее большую площадь. В результате перемещения угля на длине 30-50 м впереди проходимых выработок возникают участки смещения угля. В местах смещения угля его мощность постоянно возрастает до такой степени, что сжимающийся участок угольного пласта или его отдельной пачки начинает воздействовать на боковые породы, изгибая их. Вследствие этого в крепких боковых породах возникают упругие деформации изгиба, а в слабых — происходит трещинообразование.

Особенно благоприятными для образования зон сжатия являются кутки и места, находящиеся против забоя заземленного зависшей кровлей, а так же геологические нарушения дизъюнктивного и пликативного характера.

Анализ большого количества внезапных выбросов угля и газа на шахтах Донбасса показал [5], что большинство выбросов произошло в зонах нарушений, выразившихся в изменении мощности пластов.

Вследствие вышеизложенных причин в местах сжатия возникают задержки в сближении боковых пород, где уголь сжимается, в результате чего сопротивление нормальному давлению возрастает, давление газа повышается, а угол внутреннего трения угля уменьшается. Боковые породы, поддерживаемые в зоне сжатия относительно более прочной опорой, чем за пределами этой зоны, где они не встречают при сближении сопротивление, так как уголь здесь смещается свободно, вынуждены изгибаться до определенного предела.

При подходе выработок к таким местам, где угольные пласты или отдельные самые мягкие пропластки смещались и нарушены, создаются благоприятные условия для их обратного смещения в сторону выработки, а, следовательно, и образованию опасных изгибов в боковых породах при встречном или близком к встречному одновременному смещению угля, где силы бокового давления складываются.

Проведенные геологические исследования [5] показали, что вблизи крупных надвигов в условиях выбросоопасных зон мощные и прочные слои породы (песчаники) обычно разлинзованы, в них наблюдаются пережимы и раздувы, а в контактирующих с ними более мягких слоях и угольных пластах в местах пережимов прочных пород увеличена мощность. Эта волнистость постепенно затухает вверх и вниз от выбросоопасного пласта и мощного слоя песчаника. Однако не по всем геологическим нарушениям приурочены выбросы.

Отличительной чертой таких нарушений, где не происходят выбросы, служит то, что в них нет открытых тектонических трещин, как правило, они заполнены углем и породами, образующими брекчию и в них отсутствуют зоны со слабым перемятым углем. Эти нарушения, предположительно, были образованы в прежние геологические эпохи и в результате действия длительной релаксации замкнулись и в них отсутствуют колебательные тектонические движения.

Внутреннее строение ископаемого угля и свойства поверхности высокопористого сорбента, определяют процессы сорбции и фильтрации газа в угольных пластах.

Для характеристики угля, как коллектора метана В.В. Ходотом [3] предложена следующая классификация пор:

а) ультра – или микропоры диаметром до 10^{-7} см, образующие сорбционный объем угля;

б) переходные поры диаметром 10^{-7} - 10^{-6} см, образующие области капиллярной конденсации и диффузии газа;

в) субмакропоры диаметром 10^{-6} - 10^{-5} см, образующие область медленной ламинарной фильтрации газа;

г) макропоры диаметром 10^{-5} - 10^{-3} см, образующие область интенсивной ламинарной фильтрации и плоскостей разрушения углей с сильно нарушенной структурой;

д) видимые поры от 10^{-3} см и выше, образующие область смешанной ламинарной и турбулентной фильтрации и плоскостей разрушения углей.

Выход газа из угленосной толщи затрудняется в связи с тем, что основная часть газа находится в разных формах связанного состояния. Содержание сорбированного газа в виде твердых растворов в угольной среде может достигать 70-80% [6]. Так как для структуры угольных пластов характерно большое количество пор и трещин, то движение газового потока в порах подчиняется закономерностям диффузии, которые описываются законом Фика, а в трещинах – закономерностям проникновения в соответствии с законом Дарси.

Движение газа в угольном пласте определяется системой трещин, а метановыделение с частиц разрушенного угля определяется преимущественно диффузией. Эти закономерности и определяют очень длительное время проведения дегазационных мероприятий и больших остаточных объемов метана в угольном пласте после их проведения. Интенсивность газовыделения определяется степень разрушения газонасыщенной среды, потому что конвенционная диффузия газовыделения с совокупности частиц угля учитывает эффект взаимного влияния частиц при десорбции газа в результате разрушения пласта [7]. Итак, необходимым условием создания эффективных способов дегазации угольных пластов является учет и использование закономерностей перехода газа с одного состояния в другой и движения его в трещиновато-пористой среде.

Учитывая все вышеизложенное, можно констатировать следующее:

а) степень концентрации напряжений в призабойной зоне пласта изменяется в широких пределах в зависимости от свойств и состояния горного массива;

б) действующие в призабойной зоне напряжения в значительной мере определяются сближениями почвы и кровли угольного пласта;

в) величины и скорость сближений почвы и кровли характеризуются высокой неравномерностью;

г) при отсутствии сближений почвы и кровли концентрации напряжений не происходит;

д) при зависаниях пород концентрация напряжений увеличивается;

е) при увеличении нагрузки на пласт точка максимума напряжений приближается к забою;

ж) изменения напряженного состояния пласта и протяженность зон деформаций не связаны с изменениями прочности пласта;

з) изменения напряженного состояния угольного пласта определяют наличие двух максимумов напряжений и деформирование пласта вглубь массива;

и) газовыделение из угольного пласта определяется системой трещин и напряженным состоянием угольного пласта;

к) интенсивность газовыделения определяется степенью разрушения газонасыщенной среды.

Таким образом, основными показателями предварительной дегазации при проведении подготовительных выработок по выбросоопасным газонасыщенным пластам являются:

а) разгрузка горного массива по трассе проведения выработки путем разрушения газонасыщенной среды;

б) снижение газоносности угольного пласта путем интенсификации дегазации.

Выполнение основных показателей предварительной дегазации угольных пластов может быть осуществлено при следующих условиях применения способа:

предел прочности угля на отрыв, $Ml\ la$	$\leq 0,1$;
пористость угля, %	4-20;
коэффициент проницаемости угля, m^2	$\geq 10^{-14}$;
устойчивость вмещающих пород	средней устойчивости и устойчивые;
газоносность угля, $m^3/t.c.б.м.$	> 10 ;
глубина разработки, м	нет ограничений;
угол падения пласта, градус	0-90;
мощность пласта, м	$> 0,2$;
отход от сопряжения, м	> 5 диаметров выработки;
уголь марки	«Ж», «К».

Эффективная разгрузка напряженного горного массива путем разрушения газонасыщенной среды достигается, как правило, только за счет выемки части горной массы. Причем, для того, чтобы не образовывалось после выемки части горной массы зон повышенного горного давления она должна быть произведе-

на равномерно как вдоль трассы проведения горной выработки, так и в поперечном направлении.

При такой разгрузке горного массива: будут отсутствовать концентрации напряжений в призабойной (рабочей) зоне горного массива; величина опорного давления значительно снижается, а его максимум отодвигается от контуров подготовительной горной выработки на безопасные расстояния; сближения кровли и почвы угольного пласта происходят равномерно по мере подвигания забоя выработки; не происходит зависания пород; происходит глубокая равномерная дегазация угольного пласта в обрабатываемой зоне, позволяющая снизить его газоносность до уровня, обеспечивающего нормативную скорость проведения горной выработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куликов А.П. К вопросу о механизме и классификации газодинамических явлений. // Вопросы внезапных выбросов угля и газа в угольных шахтах: Научные сообщения ИГД им. А.А. Скочинского. – 1981. – №195. – С. 8-14.
2. Бабиченко И.Л. Исследование изменений структуры угля, обусловленных сорбированным метаном. // Научно-исследовательские работы МАНХИИ за 1959-1960 г.г., М.: Госгортехиздат, 1961.
3. Ходот В.В. Внезапные выбросы угля и газа. - М: Государственное научно-техническое издательство литературы по горному делу, 1961.
4. Квапил Р. Новые взгляды на вопросы теории давления горных пород и горных ударов. // Сб.: Горное давление. - М: Госгортехиздат, 1961.
5. Русаков Н.Г., Ольховиченко А.В. Связь показателя изменчивости мощности пласта со степенью опасности участка по внезапным выбросам на шахтах Донбасса. / Уголь Украины, 1959. - №6.
6. Айруни А.Т., Эттингер Н.А., Эзерев И.В., Долгов О.М. / Роль сорбционного напряжения твердых растворов метана в углях в развитии внезапного выброса. // Тр. XX Международной конференции. Великобритания, г. Мерфилд. – 1983. С. 16-17.
7. Зуев В.А. Влияние геомеханических процессов на газовыделение в горные выработки при проведении очистных работ // Изв. вузов, Горн. ж. – 1991. - №2. – С. 61-64.

УДК 622.233.6.051.77:622.26 (088.8)

Канд. техн. наук Н.Я. Трохимец (ИГТМ НАНУ)

К ВОПРОСУ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РОТОРНОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА ПРОХОДЧЕСКОГО КОМБАЙНА ДЛЯ КРЕПКИХ ГОРНЫХ ПОРОД

Наведено технічні параметри і аналіз роботи роторного робочого органу прохідного комбайну в гірничих породах середньої міцності. Надані пропозиції щодо конструкції і режимних параметрів роботи такого органу в міцних гірничих породах.

ABOUT IMPROVING OF THE ROTARY SERVICE PART OF BORING MACHINE FOR HARD ROCKS

The technical parameters and the analysis of operation of the rotary service part of boring machine in middle-hard rocks are presented. There are recommendations for design and mode parameters of organ use in hard rocks.

На Украине в горнорудной промышленности при проходке выработок используется отечественный проходческий комбайн 2КВ конструкции НИПИрудмаш и импортный фирмы «Роббинс» (Швеция).

Рабочий орган к этим комбайнам представляет собой корпус в виде ротора, на передней части которого установлены многовенцовые штыревые конические шарошки одинаковых геометрических размеров на разные расстояния от оси