

Канд.техн.наук Б.В. Бокий
(АП «Шахта им. А.Ф. Засядько»),
д-р техн.наук К.К. Софийский,
инженеры Е.Г. Барадулин, В.А. Нечитайло,
В.Г. Золотин (ИГТМ НАН Украины)

**ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНОЛОГИИ ДЕГАЗАЦИИ
УГЛЕПОРОДНОГО МАССИВА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТЕМПОВ ПРО-
ВЕДЕНИЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК
И НАГРУЗКИ НА ЛАВУ**

Викладено основні проблеми збільшення темпів проведення підготовчих виробок, визначено параметри заздальгідної дегазації, а також вихідні умови до техніки та технології дегазації при проведенні підготовчих виробок для високонавантажених лав

**THE REQUIREMENTS TO TECHNOLOGY DEGASSING
OF COALROCK FILE FOR INCREASE OF RATES OF CARRYING OUT
OF FACE AND LOADING ON A LAVA**

The basic problems of increase of rates of realization of carrying out of face are stated, the parameters preliminary degassing and initial requirements to engineering and technology of degassing at carrying out of face for the high-loaded lavas are certain

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

Наибольший удельный вес в общем объеме проведения горных выработок на шахте занимают вскрывающие и подготавливающие выработки. Основным объемом составляют выработки, примыкающие непосредственно к очистным забоям и проводимые смешанным забоем. Из них большая часть объема приходится на горизонтальные выработки (откаточные и вентиляционные штреки), а остальную часть составляют уклоны, бремсберги, конвейерные и вентиляционные ходки. Смешанным забоем проводится 63 % объема выработок.

На сегодняшний день плановые показатели скорости проведения подготовительных выработок по выбросоопасным угольным пластам комбайнами ПК-9Р и 4ПП-2 с применением гидрорыхления составляет 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 обеспечится средней скоростью проведения выработки не менее 180 м/мес.

Интенсификация газовыделения из горного массива возможна только при условии изменения его физико-механических свойств. Активным регулятором физических, упругих, прочностных и фильтрационных свойств угля и пород может быть изменение объема деформируемой среды под влиянием напряжений. При этом изменение объема деформируемой среды сопровождается увеличением дефектности её 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.

Поэтому необходимыми условиями создания эффективных способов предварительной дегазации угольных пластов при проведении подготовительных выработок являются учет закономерностей перехода газа из одного состояния в другой и использование его движения в трещиновато-пористой среде.

Эффективная разгрузка напряженного горного массива путем разрушения газонасыщенной среды достигается, как правило, только за счет выемки части горной массы. Причем, для того, чтобы не образовывались после выемки части горной массы зоны повышенного горного давления, воздействие должно быть произведено 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.

Следовательно, основными требованиями к технологии дегазации углепородного массива в условиях повышения темпов проведения подготовительных выработок и нагрузки на лаву на больших глубинах являются учет структурных изменений горного массива в процессе его обработки и обеспечение безопасности проведения работ с учетом специфики залегания угольных пластов современных шахт Донбасса.

В целях разработки исходных требований к технологии дегазации углепородного массива с применением гидродинамического воздействия был определен ряд параметров процесса дегазации, являющихся основными для дальнейшей разработки элементов соответствующей технологии.

На невыбросоопасном угольном пласте его газоносность χ_3 принимается равной допустимой газоносности пласта по фактору газовыделения в подготовительном забое ($\chi_3 = \chi_0$), а на пластах, опасных по внезапным выбросам угля и газа, равной безопасной газоносности ($\chi_3 = \chi_{без}$).

Параметры дегазации угольного пласта при проведении подготовительной выработки должны отвечать условию

$$\chi_3 \leq \chi_{пр} - q_{и.г.}, \quad (1)$$

где $\chi_{пр}$ – природная газоносность угольного пласта, м³/т.с.б.м; χ_3 – остаточная газоносность в зоне обработки, м³/т.с.б.м; $q_{и.г.}$ - количество извлеченного газа, отнесенного на 1 т дегазуемых запасов угля, м³/т, получается путем сложения удельного количества газа, добытого из пласта за время бурения скважины $q_б$, дегазации при проведении воздействия на угольный пласт $q_в$ и дегазации за время после проведения воздействия $q_{п.в.}$. Величины $q_б$, $q_в$ и $q_{п.в.}$ могут быть определены опытным либо расчетным путем на основе выявленных закономерностей газовыделения в дегазационные скважины.

Газ, извлеченный из скважины, выделяется с поверхности обнажения дезинтегрированного угля в зоне воздействия. Дезинтегрированный уголь, заполняющий эту зону, имеет ту же удельную поверхность, что и добытый, поэтому справедлива пропорция

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{V_1^g}{V_2^g}, \quad (2)$$

где V_1^g - объем газа, выделившегося из угля, извлеченного через скважину в выработку, м³;

$$V_1^g = q\chi_{пр}, \quad (3)$$

q - масса добытого угля, т; V_2^g - общий объем газа, выделившегося при воздействии, м³.

Объем угля, оставшегося в зоне дезинтеграции пласта, составляет пропорцию по отношению к объему извлеченного угля, что и на поверхности обнажения, т.е.

$$\frac{V_1^y}{V_2^y} = \frac{S_1}{S_2}, \quad (4)$$

где V_1^y - объем, извлеченного угля, м³;

$$V_1^y = \frac{q}{\gamma} \quad (5)$$

V_2^y - объем дезинтегрированного угля, оставшегося в массиве, м³.

Таким образом

$$\frac{V_1^c}{V_2^c} = \frac{V_1^y}{V_2^y} \quad (6)$$

Откуда

$$V_2^y = \frac{V_1^y \cdot V_2^c}{V_1^c} = \frac{V_2^c}{\gamma \cdot \chi}, \quad (7)$$

где γ – плотность угля, т/м³; χ – газоносность угля, м³/т.с.б.м.

Общий объем газа, выделившийся при воздействии, определяется из выражения

$$V_2^c = 0,01Qt (C_2 - C_1), \quad (8)$$

где Q – количество воздуха, проходящего по выработке, м³/мин; t – интервал замера, мин; C_1 – концентрация газа в выработке фоновая (до гидродинамического воздействия), %; C_2 – концентрация газа в выработке во время ведения горных работ по дегазации и после её проведения, %.

Объем зоны, обработанной гидродинамическим воздействием по геометрическим параметрам, определяется из выражения

$$V_2^y = B \cdot m \cdot L, \quad (9)$$

где B – ширина обработанной зоны, м; m – мощность угольного пласта, м; L – длина дегазационной скважины по углю, м.

Таким образом, ширина разгруженной зоны составит

$$B = \frac{V_2^y}{mL} = \frac{0,01Qt(C_2 - C_1)}{mL \cdot \gamma \cdot \chi}, \quad (10)$$

При проведении подготовительных выработок по выбросоопасным угольным пластам определяющим параметром является коэффициент дегазации обрабатываемой зоны - $K_d \geq 0,5$ [1, 2], а также ширина разгруженной зоны согласно «Инструкции по безопасному ведению работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля, породы и газа» [3] принимается равной

$$B = b + 2a, \quad (11)$$

где b – ширина проводимой выработки вчерне, м; $a = 4$ м – безопасное расстояние за контурами выработки.

Необходимый объем газа, извлекаемого из обрабатываемой зоны определяется из выражения

$$V_2^c = B \cdot m \cdot L \cdot \gamma \cdot \chi \cdot K_d, \quad (12)$$

где: K_d – коэффициент дегазации.

При этом остаточная газоносность обработанной зоны составит

$$\chi_{ост} = \chi_{пр}(1 - K_d) \quad (13)$$

При проведении подготовительных выработок по выбросоопасным угольным пластам остаточная газоносность обработанной зоны должна составлять $\chi_{ост} \leq 0,5 \chi_{пр}$.

Основными причинами, препятствующими интенсификации дегазации и повышению нагрузки на очистные забои при условии добычи угля в сложных горно-геологических условиях, являются:

- высокая газообильность угольных пластов;
- сложность и неравномерность перераспределения горного давления внутри массива в ходе проведения горных выработок;
- отсутствие эффективных и экономически обоснованных способов воздействия на угольный массив с целью повышения безопасности в условиях высоконагруженных лав.

Применение гидродинамического воздействия для дегазации и разгрузки угольного массива в процессе проведения подготовительных выработок в сложных горно-геологических условиях позволяет значительно понизить, а в некоторых случаях и устранить влияние отрицательных факторов. На этапе разработки исходных требований к технике и технологии дегазации газонасыщенного массива в числе прочих был определен ряд параметров, касающихся взаимосвязи объемов выделившихся угля и газа с физическими характеристиками угольного массива и размерами разупрочненной зоны.

Для обеспечения полного использования производительности современных и, в особенности, проектируемых комплексов требуется снизить газообильность горных выработок до 5-7 м³/т, что соответствует остаточной газоносности угольного пласта $\chi_{ост} \leq 10$ м³/т.с.б.м. При этом объем газа, извлеченного при проведении дегазационных работ должен составить

$$V_2^e = b \cdot m \cdot \gamma \cdot L(\chi_{пр} - \chi_{ост}). \quad (14)$$

Основными параметрами предварительной дегазации, которые необходимы для поддержания безопасного газового режима при проведении подготовительных выработок при подготовке выемочных столбов для высоконагруженных лав, являются:

- остаточная газоносность обработанной зоны, обеспечивающая безопасный газовый режим при проведении подготовительной выработки;
- ширина зоны эффективной разгрузки дегазуемого участка, обеспечивающая безопасную проходку горной выработки;
- длина дегазационной скважины, обеспечивающая заданные режимы проведения подготовительной выработки;
- коэффициент дегазации, обеспечивающий необходимую остаточную газоносность обработанной зоны угольного пласта;
- объем газа, извлеченного при проведении дегазационных работ, обеспечивающий безопасный газовый режим при проведении подготовительной выработки;

- масса извлеченного угля, определяющая эффективную разгрузку угольного пласта в зоне дезинтеграции угля гидродинамическим воздействием.

Важным параметром для осуществления дегазации угольного пласта при проведении подготовительной выработки является длина дегазационной скважины, так как этим обеспечивается наибольшая площадь одновременной дегазации, а, следовательно, технологическая и экономическая целесообразность применения данного способа.

Для обеспечения нормативных нагрузок на очистной забой, оснащенный современной высокопроизводительной техникой, необходима средняя скорость проведения подготовительной выработки не менее 180 м/мес. Следовательно, для обеспечения таких темпов проведения выработки необходимо провести три цикла обработки угольного пласта гидродинамическим воздействием скважинами длиной 60 м.

Масса извлекаемого угля при проведении дегазационных работ должна составлять два процента от массы обработанной части массива, что обеспечивает его разгрузку [4]:

$$q = 0,02 B \cdot m \cdot \gamma \cdot L. \quad (15)$$

где $0,02$ - коэффициент извлечения угля из обрабатываемой зоны, т.

Известно, что объемная деформация численно равна приросту свободной поверхности деформируемой среды и определяет изменение её 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.

Технология гидродинамического воздействия основана на многократной циклической обработке неразгруженного от горного давления угленосного массива ограниченным объемом рабочей жидкости с целью повышения его газопроницаемости и высвобождения адсорбированных газов, находящихся в макропорах, а также деструкции системы «уголь-газ» на молекулярном и надмолекулярном уровнях, за счет силового давления при подаче рабочей жидкости в технологическую скважину под рабочим давлением и виброволнового эффекта при резком сбросе давления рабочей жидкости в скважине и создании разрушающего градиента давления в слое угля, в который проникла вода. При этом часть разупрочненного угля с водой извлекается из массива. В результате этого формируется обширное и разветвленное фильтрационное пространство, которое одновременно является как источником выделения сорбированного га-

за, так и транспортной системой, выводящей этот газ в свободном виде в скважину.

Для организации и выбора технологии дегазационных работ практическое значение имеют следующие условия их проведения:

- высокие нагрузки на забои, высокие темпы подвигания горных работ;
- малый срок существования большинства подготовительных выработок;
- ограниченные объемы рабочего пространства горных выработок;
- замкнутость и сообщаемость рабочего пространства горных выработок (любые примеси, особенно при динамических явлениях – взрывы, пожары, выбросы и т.д. – распространяются во все горные выработки);
- большие объем и интенсивность грузопотоков в горных выработках;
- высокая стоимость проведения и поддержания горных выработок.

Основные требования к способу дегазации при проведении подготовительной выработки по угольному пласту могут быть сформулированы следующим образом:

- глубокая и равномерная дегазация угольного пласта, как в направлении проведения выработки, так и в поперечном направлении, позволяющая снизить горное давление и газоносность пласта до необходимого уровня;
- разделение во времени горных и дегазационных работ со значительным опережением последних;
- повышение проницаемости угольного пласта за счет раскрытия трещин и разгрузки пласта от горного давления;
- обеспечение безопасности работ при подготовке и проведении дегазации;
- снижение стоимости дегазационных работ.

Нормативные способы дегазации и оборудование для снижения выбросоопасности угольных пластов при проведении подготовительных выработок, применяемые в настоящее время, не обеспечивают необходимой степени дегазации, что сдерживает темпы проведения горных выработок.

В связи с этим разработаны способ и устройство для осуществления гидродинамического воздействия (УГВ) нового технического уровня, которое подтверждено патентом [5], для дегазации угольного пласта при проведении подготовительных выработок и обеспечения эффективности обработки горного массива. Устройство гидродинамического воздействия (УГВ) имеет следующие технические характеристики:

максимально допустимое давление в коллекторе, МПа	20,0;
максимально допустимое давление в гидроцилиндре управления задвижкой, МПа	10,0;
рабочее давление в гидроцилиндре, МПа	5,0;
	не более
время полного открывания полости коллектора, с	0,5;
максимальный расход рабочей жидкости, м ³ /с	6·10 ⁻⁴ ;
удаление пульта дистанционного управления от скважины, м	не более 80;
длина коллектора, м	5 - 15;

габариты УГВ (без коллектора и соединительных трубопроводов), мм:

- длина	1480;
- ширина	400;
- высота	250;
масса УГВ (без соединительных трубопроводов), кг.	150.

Параметры способа дегазации угольного пласта с применением гидродинамического воздействия при проведении подготовительной выработки для обеспечения эффективной дегазации горного массива:

рабочее давление в скважине, МПа	2 - 7; не менее 76
диаметр технологической скважины, мм	мм;
внутренний диаметр обсадных труб, мм	95-107;
время сброса давления жидкости в скважине, с	0,01-0,5;
рабочая жидкость	вода; не более
удельный расход рабочей жидкости, м ³ /т угля	1; не менее
толщина породной пробки, м	10;
диаметр участка скважины для герметизации, мм	не менее 150;
глубина герметизации дегазационной скважины, м	не менее 10;
остаточная газоносность обработанной зоны, м ³ /т.с.б.м	не более 10;
длина дегазационной скважины, м	не менее 30;
коэффициент дегазации угольного пласта	не менее 0,5; не менее
коэффициент извлечения угля	0,02;
частота обработки угольного пласта, раз/мес	не менее 3.

Область применения способа гидродинамического воздействия при дегазации угольного массива:

предел прочности угля на отрыв, МПа	не более 0,15;
пористость угля, %	4-20;
коэффициент проницаемости угля, м ²	не менее 10;
устойчивость вмещающих пород	средней устойчивости и устойчивые;
газоносность угля, м ³ /т.с.б.м	не менее 10;
глубина разработки, м	нет ограничений;
угол падения пласта, град	нет ограничений;
мощность угольного пласта, м	0,2 - 2,5.

В результате проведенных исследований были установлены исходные требования к технологии дегазации углепородного массива для повышения темпов проведения подготовительных выработок и нагрузки на лаву:

- снижение выделения метана в выработку;
- снижение динамической активности массива;

- повышение скорости проведения выработки за счет уменьшения времени на проведение профилактического мероприятия;
- обеспечение экономической целесообразности проводимых профилактических работ в совокупности с их высокой эффективностью;
- снижение трудоемкости профилактического мероприятия по сравнению с ныне действующими;
- обеспечение безопасности во время проведения профилактических мероприятий и последующих горных работ;
- обеспечение надежного контроля эффективности гидродинамического воздействия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по применению на шахтах Донбасса способа определения величины зоны разгрузки призабойной части выбросоопасного угольного пласта: Утв. Минуглепромом Украины 01.11.94. - Макеевка, 1994. – 6 с.
2. Руководство по применению на шахтах Донбасса способа контроля выбросоопасности призабойной части массива в подготовительных выработках по параметрам акустического сигнала: Утв. Минуглепромом Украины 24.09.96. - Макеевка, 1996. -9с.
3. Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, опасным по внезапным выбросам угля, породы и газа: Утв. Минуглепромом СССР и Госгортехнадзором СССР 18.04.89. / М-во угольной промышленности СССР. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1989. – 192 с.
4. Булат А.Ф. Гидродинамическое воздействие на газонасыщенные угольные пласты / А.Ф. Булат, К.К. Софийский, Д.П. Силин, Э.И. Мучник, Е.Г. Барадудин, Д.П. Житленок, В.Н. Жмыхов, Е.А. Воробьев, А.П. Калфакциян. – Днепропетровск: Полиграфист, 2003. – С. 17-21.
5. Пат. 19956 України, МКП E21 C 45/00, E 21 F 5 / 00. Пристрій для гідродинамічного впливу на вугільний пласт / В.А. Амелін, Є.Г. Барадудін, І.П. Демідов (Україна). -№4445214/22-03; Заявл.20.06.88;Опубл. 25.12.97, Бюл. №6 (II ч.). - С. 3.1.410.