

Аналитический метод расчета утечек воздуха позволяет получить количественную и качественную (направление линий токов) картину утечек воздуха через выработанное пространство. При этом, метод расчета дает возможность определять как общий дебит утечек воздуха в каждой оконтуривающей выработанное пространство выработке, так и распределение по ее длине.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила безопасности в угольных шахтах / ДНАОП 1.1.30-1.01-96// Утверждено приказом Государственного комитета Украины по надзору за охраной труда от 18 января 1996 г. № 7. – К.: Основа, 1996. – 207 с.
2. Проветривание и газовый режим шахты им. А.Ф. Засядько: состояние и пути совершенствования / Звягельский Е.Л., Булат А.Ф., Ефремов И.А., Бокий Б.В., Бунько Т.В., Кокоулин И.Е. // Донецк – Днепропетровск, 2003. – 218 с.
3. Милетич А.Ф. Утечки воздуха в шахтах. М.: Госгортехиздат, 1962. – 132 с.
4. Пучков Л.А., Алехичев С.П. О формуле закона сопротивления и методике расчета аэродинамических характеристик пористой среды зоны обрушения / В сб. «Технология разработки рудных месторождений Заполярья», изд. «Наука», М.–Л., 1964.
5. Пучков Л.А. Аэродинамика подземных выработанных пространств. – М.: МГТУ, 1993. – 267 с.
6. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. – М.: Наука, 1973. – 847 с.

УДК 622.81(088.8)

Канд. техн. наук Д.П. Силин
(ИГТМ НАН Украины)

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ДЕГАЗАЦИИ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА

На підставі експериментальних даних досліджено вплив параметрів гідродинамічної дії через довгі технологічні свердловини на час і ступінь дегазації ділянок вугільних пластів, що обробляються.

INFLUENCE OF PARAMETERS OF HYDRODYNAMIC INFLUENCE ON INTENSITY OF DEGASSING OF COAL LAYER

On the basis of experimental information, influencing of parameters of hydrodynamic action is explored through long technological mining holes for a time and degree of degassing of areas of coal layers which are processed.

Извлечения метана из угольных пластов и вмещающих пород становится неотъемлемой частью технологического процесса добычи угля, особенно при высоких нагрузках на очистные забои. Дегазация горного массива позволяет не только уменьшить количество аварий и несчастных случаев на шахте и повысить производительность труда, но и способствовать увеличению доли метана среди основных источников энергии в Украине. Подсчитано, что только на шахтных полях Донбасса с природной газоносностью угля около 12 м³/т дегазационные ресурсы сорбированного метана составляют 1,2 трлн м³, а скопленный свободного метана в углевмещающих песчаниках на перспективных площадях составляют около 140 млрд м³ [1]. Кроме того, утилизация метана уголь-

ных месторождений способствует уменьшению глобального «парникового эффекта» и выполнению Украиной обязательств, предусмотренных Рамочной конвенцией ООН по изменению климата. С этой целью применяется дегазация горного массива поверхностными и подземными дегазационными скважинами. Однако, на газоносных пластах угля, применение традиционной дегазации как средства управления газовыделением недостаточно. Особенно это относится к пластам, залегающим на больших глубинах, т.е. около 1000 м. Это связано с тем, что с увеличением глубины залегания уменьшается как абсолютная, так и эффективная пористость пласта и вмещающих пород, что приводит к ухудшению проницаемости и дегазации пласта. Так с увеличением глубины залегания песчаника с 450 до 1450 м его абсолютная пористость снижается с 8 до 4,2%, а эффективная с 7,4 до 4,3% [2]. Поэтому изыскание методов интенсификации дегазации угольных пластов, не разгруженных от горного давления, является актуальным и связано с решением проблемы 1.2.14.15.02 «Підземна розробка родовищ корисних копалин» (Постановление ОМ НАН Украины, прот. №2 от 12.03.02) и выполнением работы 1.3.5.74 «Механіка гірських порід, техніка та технології безпечного видобування вугілля високонавантаженими лавами» (№ГР 0102U006162).

Результаты опытно-промышленных работ в Донбассе за последние годы по созданию технологий предварительной дегазации с применением скважин, пробуренных с поверхности, показали перспективность направления, позволяющего повысить уровень безопасности при освоении метаноносных угольных месторождений с одновременным ростом производственных и экономических показателей угольных шахт, снизить экологическую нагрузку на окружающую среду и организовать извлечение метана с использованием его как альтернативного вида топлива для выработки электроэнергии, в качестве моторного топлива, технологического сырья и в коммунально-бытовых целях [1]. Отмечается, что при столбовой системе разработки пласта на поле шахты им. Засядько дегазационные скважины на подрабатываемые коллекторы можно использовать в качестве газодобывающих [3]. Однако, опыт дегазации шахт и извлечения метана из неразгруженных угольных пластов и углевлещающей толщи говорит о тесной взаимосвязи геологических, геомеханических и технологических аспектов совместной добычи угля и метана [4]. Как правило, дегазация высокогазоносного пласта происходит в основном в зоне влияния очистного забоя и дегазационные скважины функционируют (отсасывают метан пригодной для утилизации концентрации) лишь короткий отрезок времени. Интенсификация дегазации гидродинамическим воздействием приводит к повышению эффективности работы дегазационных скважин. Для создания технологии интенсификации дегазации необходим выбор оптимальных параметров заложения скважин и режимов самого воздействия.

ИГТМ НАН Украины в течение ряда лет ведутся работы по созданию способа интенсификации дегазации гидродинамическим воздействием через скважины, пробуренные из подземных горных выработок. В результате проведения натурных экспериментов подтверждена эффективность применения воздейст-

вия с целью повышения дебита скважин. На всех обработанных участках была достигнута эффективность дегазации более 30%. Однако коэффициент дегазации на некоторых скважинах достигал 0,68, что указывает на зависимость газоотдачи от режимов воздействия. Вследствие создания опасных концентраций газа в атмосфере выработки при интенсивном газовыделении во время воздействия для разработки технологии необходима корректировка параметров воздействия на основании установления зависимостей показателей дегазации от параметров процесса.

Таким образом, на основании анализа результатов проведения гидродинамического воздействия на угольные пласты необходимо выявить параметры воздействия, которые оказывают наибольшее влияние на интенсивность дегазации пластов и установить зависимости коэффициента дегазации угольного пласта от времени после проведения воздействия. При этом необходимо учитывать, что, как показала оценка распределения количества метана в структуре угля, в выбросоопасных пластах до 25% его объема содержится в трещинах и открытых порах, а остальная часть – в закрытых порах и твердом растворе [5]. Кроме того, для эффективного разрушения угольного массива, не допуская создания концентраций метана в атмосфере выработки выше предельнодопустимых, время на сброс давления в скважине не должно превышать время на образование опасной концентрации метана, которое уменьшается с увеличением объема пор в угле, поскольку закрытые поры могут составлять около 50% общего объема пор [6].

Горно-экспериментальные работы по интенсификации дегазации с применением гидродинамического воздействия производились через скважины, пробуренные из 10 и 11 конвейерных штреков пласта l_1 (гор. 1070 м) АП «Шахта им. А.Ф. Засядько» [7]. Угольный пласт l_1 сложного строения, марки «К», имеет нарушенную структуру, мощностью от 1,70 до 1,98 м. Угол падения пласта – 10-12°. Природная метаноносность – 22-24 м³/т с.б.м. Пласт опасен по пыли, газу, суфлярным выделениям метана и внезапным выбросам угля и газа, склонен к самовозгоранию. Угольный пласт имеет нарушенную структуру. Непосредственная кровля представлена алевролитом мощностью до 2,0 м, весьма неустойчивым («ложная кровля»), с коэффициентом крепости – 5 и аргиллитом мощностью 1,2 м. Основной кровлей являются слои выбросоопасного песчаника $l_1Sl_2^l$ мощностью от 14,50 до 27,0 м ($f = 9$), среднеустойчивого (Б₂₋₃), труднообрушаемого (А₃), водоносного, нижние слои имеют брекчевидное сложение, с прослойками и линзами угля, поэтому они неустойчивы, могут давать вывалы крупными глыбами (более 2 м). Почва пласта представлена алевролитом мощностью 1,0-1,7 м и аргиллитом мощностью до 6,1 м (П₂), в верхней части слоя (до 1,8 м) присутствует «кучерявчик» комковой текстуры, склонный к пучению (П₁). Ниже залегает песчаник мощностью 16,0-33,0 м ($f \geq 9$), выбросоопасный. Для дегазации выемочных участков, согласно паспорту, осуществлялось бурение скважин в кровлю пласта из подготовительных выработок. Из вентиляционного штрека скважины бурили позади очистного забоя с разворотом в сторону подвигания лавы. Из конвейерного штрека –впереди очистного

забоя с разворотом в сторону очистного забоя. При этом, бурение скважин из конвейерного штрека осуществляется с учетом обеспечения заблаговременной (не менее 6 месяцев) дегазации участка, примыкающего к воздухоподающему штреку. Эти же скважины по мере подработки их лавой каптировали газ, выделяющийся из вышележащих угольных пластов. Для исключения загазирования выработок в период посадки основной кровли из обеих выработок бурили по две торцевые скважины. Все скважины подсоединяли через газопроводы к вакуум-насосной станции. Дегазация непосредственно отрабатываемого угольного пласта проектом не была предусмотрена. Однако, практика отработки пласта l_1 показала, что с углублением ведения работ природная газоносность возрастает, а в зонах вторичных антиклинальных структур метаноемкость пласта резко повышается, что затрудняет обеспечение безопасности ведения горных работ. В связи с этим возникла необходимость ведения дегазационных работ по угольному пласту. Система разработки пласта l_1 столбовая с отработкой обратным ходом по простиранию. Длина лавы 240-260 м. Воздухоподающий штрек погашается вслед за лавой, а конвейерный поддерживается для обеспечения проветривания с выдачей исходящей струи на фланги шахтного поля.

Для проведения работ по интенсификации дегазации отрабатываемого угольного пласта гидродинамическим воздействием сооружались ниши, из которых на угольный пласт через породы почвы бурились технологические скважины диаметром 76-110 мм. Длины скважин по углю изменялись от 25 до 90 м. Устье скважины располагалось на расстоянии 1 м ниже пласта. Обсадка породной части скважин производилась трубами на глубину 10-12 м, а герметизация производилась цементно-песчаным раствором на всю длину обсадки. Для гидродинамического воздействия применялось устройство УВГ (патент Украины №19956), которое соединялось с насосной установкой через пульт дистанционного управления.

Пластовое давление газа в контрольных шпурах перед началом воздействия составляло в среднем 1,1 МПа. В процессе гидродинамического воздействия через каждую технологическую скважину производилось около 40 циклов. Время нагнетания рабочей жидкости в скважину находилось в пределах 10 мин, время сброса составляло около 1,3 мин. Давление подачи жидкости находилось в пределах от 1 до 10 МПа и в среднем составляло 5 МПа. Концентрация метана у устья скважины изменялась от 0,1 до 10%. В среднем на каждой скважине было сделано по 40 циклов воздействия. По мере воздействия содержание угля в выносимой из скважины водогазоугольной смеси постепенно возрастало. С увеличением содержания в смеси угля возрастало и содержание выделяющегося газа. Выход газа при воздействии составлял в среднем около 3 тыс. м³, что составляло около 2% газа, находящегося в обрабатываемой зоне. В результате воздействия из технологической скважины извлекалось около 25 т угля (0,7% угля в обрабатываемой зоне). После воздействия газовыделение из скважин увеличивалось и скважины подсоединялись к общешахтному дегазационному ставу. За время их работы в став поступило более 190 тыс. м³. При этом удельное газовыделение из скважин (на 1 м длины скважины) составило более

650 м³/м. В контрольной скважине (без проведения гидродинамического воздействия) этот показатель составил менее 230 м³/м, т.е. гидродинамическое воздействие привело к увеличению удельного газовыделения более чем в 2,8 раз. В результате воздействия был достигнут коэффициент дегазации в среднем по обработанным участкам 0,46. Ширина обработанной зоны составляла более 30 м.

На основании анализа результатов проведения гидродинамического воздействия удалось установить параметры воздействия, которые оказывают наибольшее влияние на интенсивность дегазации пластов после проведения воздействия. Для длинных скважин по углю наиболее значимыми из этих параметров кроме давления нагнетания и сброса являются время создания максимального давления в скважине и время сброса жидкости. В результате их изменения изменяется время дегазации пласта до необходимой степени. При этом дегазация угольного пласта после проведения гидродинамического воздействия происходит по логарифмическому закону и кривая, ее описывающая, лежит в области ограниченной уравнениями

$$k_d = 10,47 \ln(t) + 33,38$$

и

$$k_d = 10,12 \ln(t) - 7,21,$$

где t – время дегазации, мес. (рис. 1). Расположение этой кривой зависит от вышеуказанных параметров. При этом дегазация массива через скважину без применения гидродинамического воздействия для аналогичных условий описывается уравнением

$$k_d = 4,37 \ln(t) - 3,01.$$

Варьируя эти параметры можно достичь необходимую для исключения остановок выемочного участка по газовому фактору степень дегазации угольного пласта за установленное время, которое зависит от расстояния технологической скважины до очистного забоя и скорости подвигания лавы.

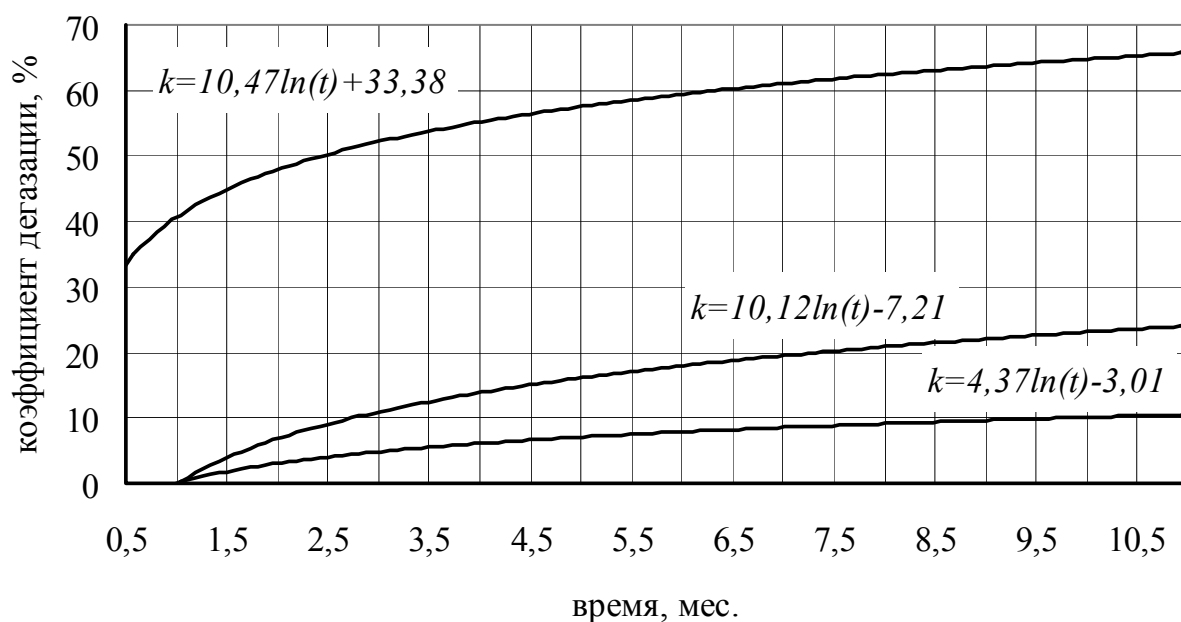


Рис. 1 – Зависимость коэффициента дегазации угольного пласта от времени

Для условий заложения конвейерных штреков АП «Шахта им. А.Ф. Засядько» по угольному пласту l_1 наиболее рациональными параметрами воздействия являются следующие. Давление нагнетания на первом этапе воздействия должно составлять 2-3,0 МПа. Время на осуществление одного цикла – 30-200 с в зависимости от выхода угля из скважины. Количество циклов, выполняемых при таком давлении, находится в пределах 50 шт. (до извлечения из скважины угля в пределах 0,4% угля, находящегося в обрабатываемой зоне). На следующем этапе воздействия (до 70 циклов) давление нагнетания следует поддерживать в пределах 1-4,0 МПа, а давление сброса – 0,2-0,3 МПа с периодическим увеличением давления нагнетания до 7,0 МПа и сброса давления до 0 МПа для полного извлечения угля из скважины. Очистка скважины должна производиться каждые 20-30 циклов. В результате воздействия из скважины необходимо извлечь 0,5-1% угля, находящегося в обрабатываемой зоне, что приведет к увеличению интенсивности газовыделения из скважины в 1,5-2 раза в течение 1 сут. с дальнейшим увеличением дебита скважины за счет удаления из угольного пласта воды, не позволяющего интенсивно выходить газу в атмосферу выработки во время воздействия для соблюдения газового режима. Оптимальное расстояние между технологическими скважинами должно составлять не менее 50 м и между ними до начала работ по гидродинамическому воздействию должны быть пробурены дегазационные скважины диаметром 76 мм на расстоянии 25 м.

Таким образом, изменение коэффициента дегазации угольного пласта после проведения гидродинамического воздействия через длинные скважины описывается логарифмическим законом. Интенсивность дегазации зависит от давления нагнетания и сброса, а также времени создания максимального давления в

скважине и времени его сброса. Варьируя эти параметры в зависимости от параметров скважины и свойств угольного пласта можно обеспечить необходимую степень дегазации за установленное время и тем самым повысить нагрузку на очистной забой и исключить остановки выемочного участка по газовому фактору.

Для применения гидродинамического воздействия в различных горно-геологических условиях необходимо учесть изменение пористости и проницаемости угольных пластов при различных параметрах воздействия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павлов С.Д. Пути освоения природных газов угольных месторождений. – Х.: Колорит, 2005. – 336 с.
2. Николин В.И., Лысиков Б.А. Влияние глубины залегания пород Донбасса на физико-механические свойства // Уголь. – 1964. – №12.
3. Влияние параметров и способов дегазации на газообильность выработок / Б.В. Бокий, С.Г. Ирисов, И.В. Поляков // Уголь Украины. – 2003. – №11. – С. 48-50.
4. Повышение эффективности подземной разработки высокогазоносных угольных месторождений на основе организации совместной добычи угля и метана / Трубецкой К.Н. // Уголь. – 2003. – №9. – С. 3-6.
5. Стариков Г.П. Прогнозирование неустойчивости системы «уголь – газ» при отработке выбросоопасных угольных пластов: Дис... д-ра техн. наук: 05.15.11. – Донецк, 2005.
6. Слюсарев В.В. Обоснование способа определения пористости угля для прогноза параметров газоразделения: Дис... канд. техн. наук: 05.15.11. – Донецк, 2003.
7. Интенсификация дегазации угольного пласта П1 на шахте им. А.Ф. Засядько гидродинамическим воздействием / И.А. Ефремов, Б.В. Бокий, К.К. Софийский, Д.П. Силин, В.А. Нечитайло // Геотехническая механика. – Вып. 53. – Днепрпетровск: ИГТМ НАН Украины, 2005. – С. 117-122. – (Межведомственный сб. научн. тр.)