

Обоснование рациональных параметров дегазационной скважины

Рассмотрено деформацию устья дегазационной скважины как функцию деформаций пород кровли подготовительной выработки, из которой пробурена скважина. Установлена зависимость необходимой глубины герметизации скважины от уровня утечек метана и деформации кровли.

Отечественные месторождения каменного угля характеризуются высокой газоносностью, находятся на значительных глубинах и разрабатываются подземным способом. В связи с этим высокопроизводительная подземная добыча угля невозможна без дегазации пластов-спутников и газоносных песчанников, из которых в рабочее пространство действующего забоя поступает от 30 до 80 % дополнительного взрывоопасного газа [1, 2].

Наибольшая часть взрывоопасного шахтного метана улавливается через подземные дегазационные скважины, которые бурят из подготовительных выработок. Однако в условиях глубоких угольных шахт основная доля метана каптируется дегазационными скважинами только после подработки, расслоения и разрушения массива горных пород позади действующей лавы, о чем свидетельствуют исследования отечественных [2 – 4] и зарубежных [5] ученых. Максимум интенсивности улавливания метана наблюдается после подработки толщи и удаления лавы на расстояние 30 – 40 м. Наиболее активная стадия газовыделения наблюдается до отхода лавы на 100 – 150 м.

Причина такого эффекта объясняется расслоением и разрушением подработанной толщи позади движущейся лавы – в зоне активных сдвижений. Это содействует интенсивному газовыделению в связи с раскрытием соприкасающихся пор, раскрытием существующих и образованием новых трещин в массиве горных пород. Указанный геомеханический эффект сопровождается десорбцией газа и увеличением интенсивности его фильтрации в сторону выработанного пространства из-за возрастания проницаемости массива на несколько порядков. Так, согласно работам [1, 6] проницаемость нетронутого угленосного массива на глубинах 600 – 1000 м составляет доли миллиарда*, в то время как после его подработки она может увеличиться до тысяч и десятков тысяч миллиардов.

С помощью компьютерного, физического моделирования, а также шахтных инструментальных наблюдений установлены закономерности разрушения устьев дегазационных скважин, пробуренных из подземных горных выработок. Экспериментально доказано, что в зоне активных сдвижений позади действующей лавы, где выделяется

* $1 \text{ Д} = 1,02 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$.



А. А. ЯЙЦОВ,
инж.

(ПрАО «Донецксталь» –
металлургический завод)



В. В. НАЗИМКО,
доктор техн. наук
(ДонНТУ)

основное количество взрывоопасного метана, устья скважин претерпевают следующие основные виды необратимых деформаций: искривление оси скважины и ее продольное скручивание (рис. 1, а); деформации растяжения вдоль оси скважины (рис. 1, б), которые содействуют утечкам метана и подсосам воздуха из шахтной атмосферы; деформации сосредоточенного сдвига (рис. 1, в), которые перерезают живое сечение канала дегазационной скважины, повышают ее аэродинамическое сопротивление и уменьшают дебит метана; такой же негативный эффект оказывает обрушение стенок скважин и заполнение ее «живого» сечения обломками.

Для проверки достоверности результатов шахтных инстру-

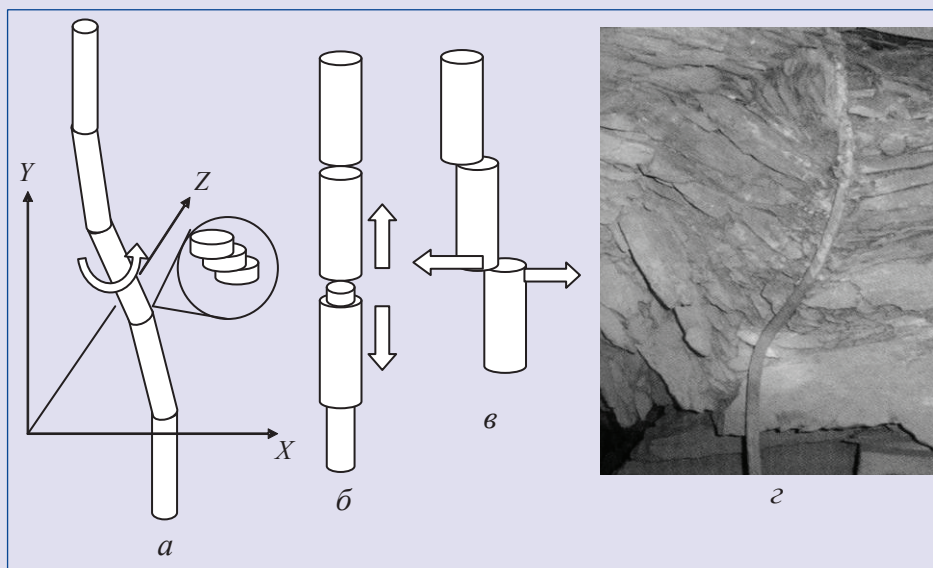


Рис. 1. Формы деформации ствола дегазационной скважины: а – изгиб, искривление; б – растяжение; в – сосредоточенный срез; з – деформация stapleполимерного анкера в шахтных условиях.

ментальных наблюдений и возможности их обобщения были проанализированы данные физического моделирования [7]. На моделях зарегистрировано статистически представительное число деформаций расслоений и сосредоточенных срезов, которые совпадают с плоскостями наложения пород. Аналогичные деформации показаны на породном обнажении расщелки выработки в натурных условиях на рис. 1, з [7]. Смещения кровли настолько интенсивны, что анкер изогнулся на участке, примыкающем к полости подготовительной выработки на угол, достигающий 40°. Точно такие же деформации испытывают и устья дегазационных скважин. Видно, что даже участок плавного изгиба формируется за счет деформации сосредоточенного среза и расслоения вмещающих пород (фрагмент на рис. 1, а).

Изменение расстояний Y между соседними сосредоточенными деформациями в зависимости от расстояния X от контура подготовительных выработок, из которых пробурены скважины, показан на рис. 2. Измерения проводились в выработках, поддерживаемых позади движущихся лав. Смещения кровли были в пределах 250 – 420 мм. С приближением к контуру выработки расстояние между сосредоточенными деформациями существенно уменьшалось. Значительно влияла выработка на устье дегазационной скважины и на глубине 10 м. С удалением от контура подготовительной выработки расстояние Y между соседними сосре-

доточенными деформациями ствола скважин увеличивалось согласно логарифмической зависимости

$$Y = 1,899 \ln X + 1,40, \quad (1)$$

где X – расстояние от контура выработки в глубь массива, м.

Распределения деформаций расслоения в кровле выработки вдоль осей дегазационных скважин, полученные с помощью глубинных реперов, показаны на рис. 3. На оси абсцисс отложено безразмерное расстояние от контура выработки в глубь массива в значениях радиуса сводовой части выработки арочной формы, на оси ординат – безразмерные

или относительные деформации растяжения оси скважины, приведенные к значениям смещений кровли выработки. Разные наборы данных относятся к разным смещениям кровли экспериментальных выработок, выраженных в безразмерном виде путем деления значения смещения на радиус сводовой части выработки и приведенных в легенде графика.

Видно, что деформации растяжения оси дегазационной скважины уменьшаются по степенной зависимости с удалением от контура выработки в глубь массива. Например, при безразмерном смещении кровли выработки, равном 0,25, деформация растяжения e описывается формулой

$$e = 0,0496 x^{-2,2}, \quad (2)$$

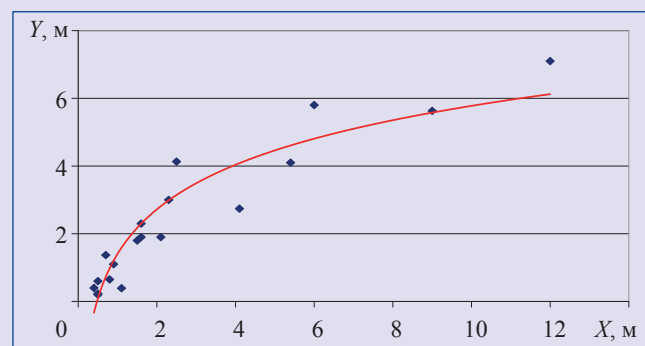


Рис. 2. Изменение плотности сосредоточенных деформаций вдоль дегазационных скважин.

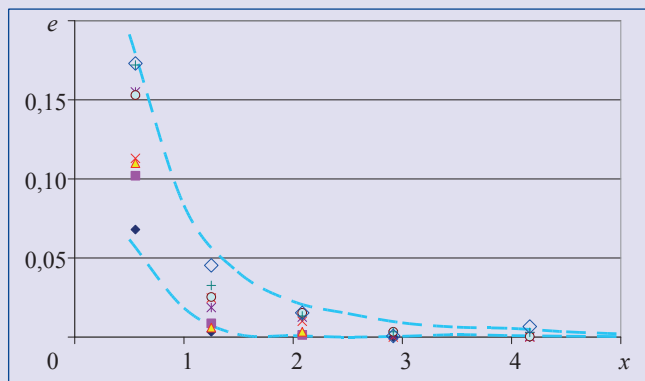


Рис. 3. Результаты статистического анализа данных натурных наблюдений по глубинным реперам. Пунктирные огибающие кривые показывают возможный диапазон деформаций.

где x – безразмерное расстояние от контура выработки в радиусах ее сводовой части.

С приближением к контуру выработки на расстояние, равное 1,5 ее радиуса, деформации растяжения оси экспериментальной скважины резко увеличиваются, а у контура достигают 0,25 и более. Чем больше смещения кровли выработки, тем больше деформация. Такие интенсивные расслоения пород приводят к утечкам газа и подсосам воздуха, что снижает эффективность работы дегазации. Именно поэтому дегазационные скважины необходимо герметизировать на указанном интервале.

Сосредоточенные деформации на любом расстоянии от контура выработки – случайные величины и распределены согласно нормальному закону. При этом практически не зависят от расстояния относительно контура выработки. Это значит, что на любой глубине от контура выработки может реализоваться сосредоточенная деформация любого значения в диапазоне от 0,01 до 0,3. Зато среднее значение сосредоточенной деформации T_c скважины определяется смещением u на контуре подготовительной выработки и может быть найдено по логарифмической зависимости (результат с погрешностью 27 % и надежностью 72 %):

$$T_c = 0,056 \ln(u/R) + 0,3. \quad (3)$$

Поскольку сосредоточенные деформации указаны в долях от смещений кровли выработки, можно сделать вывод о том, что указанный диапазон деформаций весьма опасен для ствола дегазационной скважины.

Чаще всего диаметр дегазационных скважин находится в диапазоне 72 – 150 мм. При смещении

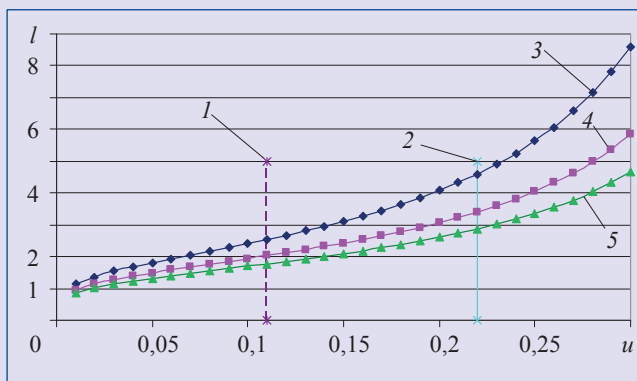


Рис. 4. Рациональный диапазон глубин l герметизации дегазационных скважин: 1 и 2 – рациональный и граничный пределы смещений u ; 3, 4 и 5 – допустимые пределы деформации на растяжение, равные 0,002, 0,004 и 0,006.

кровли выработки, равном 300 мм, сосредоточенная деформация среза составит $300 \times 0,3 = 90$ мм. Очевидно, что такая деформация может перерезать ствол дегазационной скважины полностью или существенно уменьшить его «живое» сечение. Поскольку у контура выработки таких участков сужения скважины по крайней мере около десятка (см. рис. 2), местные сопротивления от отдельных сосредоточенных деформаций суммируются, а ее аэродинамическое сопротивление увеличится до такой степени, что скважина практически перестанет выполнять свои функции. Это приведет к фильтрации газа в рабочее пространство горных выработок, к возникновению местных скоплений метана у кровель и может послужить причиной взрыва метановоздушной смеси.

Полученный результат подтверждается исследованием зависимости аэродинамического сопротивления скважины от сосредоточенной деформации среза ее ствола [8]. Установлено, что при уменьшении диаметра живого сечения дегазационной скважины на значение, которое не превышает радиус скважины, местное аэродинамическое сопротивление на участке сужения увеличивается незначительно. Однако при дальнейшем перерезании ствола скважины ее аэродинамическое сопротивление возрастает скачкообразно, а дебит уменьшается во много раз.

Выполненные исследования позволили лучше обосновать глубину герметизации устья дегазационной скважины с учетом смещений пород вокруг выработки, из которой эта скважина пробурена (рис. 4).

Глубина герметизации – один из важнейших параметров, который обеспечивает эффективную работу дегазационной скважины. Требования [9] рекомендуют принимать глубину герметизации не менее 6 – 10 м. Значение этого параметра взято из Руководства [10], в котором рекомендуется такой же диапазон глубин герметизации. Меньший предел глубины герметизации в СОУ [9] рекомендуется для пологих пластов, больший – для крутых.

Аналогичный принцип выбора глубины герметизации заложен и в Руководстве [10]. При этом в п. 6.1.3 Руководства уточняется, что глубина герметизации принимается не менее 6 м при углах разворота дегазационной скважины относительно оси подготовительной выработки в пределах 60 – 90°. Если же угол разворота меньше 60°, глубина герметизации должна быть не менее 10 м. Этим положением косвенно подтверждается решающая роль сдвижений пород вокруг подготовительной выработки в формировании негативных условий, снижающих устойчивость ее устья, т. е. глубина интенсивного разрушения вмещающих выработку пород принимается равной не менее 6 м.

В данной работе обоснованы параметры дегазационных скважин и разработана методика для их выбора. На рис. 4 показан рациональный диапазон глубин герметизации дегазационной скважины в зависимости от допустимого значения деформаций расслоения пород кровли выработки. Эта зависимость получена на основе результатов исследований, описанных выше. Если в качестве допустимых деформаций принимается 0,002, глубина герметизации должна быть максимальной. Так, при безразмерных деформациях, равных 0,11 (при радиусе выработки 3 м это соответствует 330 мм), глубина герметизации должна составлять 2,54 радиуса выработки (в данном примере $2,54 \times 3 \text{ м} = 7,62 \text{ м}$). Однако уже при смещении кровли на 0,22 (660 мм) необходимая глубина герметизации увеличивается до 4,60 радиуса сводовой части выработки (13,8 м).

Допустимая деформация расширения пород кровли выработки, равная 0,002, принята исходя из результатов испытаний пород на растяжение. Доказано [11], что предел упругости осадочной породы на растяжение в среднем составляет 0,002. При таких деформациях кровля останется еще целой, а сосредоточенные деформации расслоения не возникнут, т. е. проницаемость пород при указанном уровне деформаций будет близка к проницаемости нетронутого массива.

При больших деформациях (например, 0,004 и более – см. рис. 4) в кровле возникнут трещины расслоения, что приведет к подсосам воздуха, снижению вакуума и соответственно концентрации метана в газозооушной смеси, а также к дебиту метана.

Диапазон смещений пород кровли выбран неслучайно. Из рис. 4 видно, что вначале с ростом смещений кровли необходимая длина герметизации увеличивается затухающими темпами (от нуля до границы 1 на рис. 4). При смещениях более 0,11 прирост длины герметизации происходит с точностью до третьего знака примерно линейно до смещений 0,22. Однако после этого, начиная с границы 2, необходимая глубина герметизации дегазационной скважины продолжает увеличиваться ускоренными темпами, что позволило выделить рациональный диапазон деформаций подготовительной выработки, из которой пробурена скважина: в пределах от нуля до 0,11 – 0,22 радиуса ее сводовой части. При больших значениях смещений кровли подготовительной выработки дегазацию из подземных скважин, пробуренных из контура данной выработки, осуществлять нецелесообразно по нескольким причинам.

Во-первых, необходимая длина герметизации скважины становится слишком большой, причем каждый сантиметр дополнительных смещений кровли требует все большего ее приращения. Во-вторых, при смещениях больше 0,22 радиуса сводовой части выработки сосредоточенные деформации устья скважины становятся более 22 % смещений кровли (см. формулу (3)). Это значит, что в выработке шириной 6 м средние сосредоточенные деформации ствола дегазационной скважины составят $3 \times 0,22 \times 0,22 = 145 \text{ мм}$. Практически любая дегазационная скважина при такой деформации среза закроется полностью и прекратит свое функционирование. Таким образом, целесообразно вести дегазацию через подземные скважины при смещениях кровли выработки, не превышающих 0,11 радиуса выработки. Эту границу можно увеличить до значения 0,22, но тогда придется сосредоточенные деформации устья скважины компенсировать увеличением диаметра и дополнительными мерами, что может оказаться нерациональным.

Еще одно ограничение при выборе глубины герметизации дегазационной скважины – утечки или подсосы воздуха в трещины, образующиеся на участке устья скважины, близко расположенном к полости выработки, а значит и к атмосфере. Для

расчета таких утечек были выполнены специальные исследования.

Рассматривался участок устья дегазационной скважины длиной 20 м, что превышает все рекомендуемые и встречающиеся на практике глубины герметизации. В начале устья задавали вакуум на уровне значения 0,08 от атмосферного давления, что соответствовало примерно 9,33 кПа. На удаленном участке устья вакуум принимался равным 0,09 от атмосферного давления, т. е. учитывалось аэродинамическое сопротивление рассматриваемого участка скважины при дебите 4 м³/мин, и диаметре скважины 100 мм. Закон распределения проницаемости вдоль устьевого участка скважины определялся по степенной зависимости на основе формулы (2) с учетом уточненных эмпирических коэффициентов. Принимался ламинарный закон течения воздуха через трещины в результате его подсоса в устье дегазационной скважины.

При таких начальных условиях и исходных данных рассчитаны подсосы воздуха по длине устьевой части дегазационной скважины. Полученное распределение подсосов воздуха из шахтной атмосферы использовалось при расчете глубины герметизации дегазационной скважины. Указанный расчет выполняется с учетом заданного значения подсосов воздуха в дегазационную сеть из шахтной атмосферы, прочности вмещающих выработку пород, ее сечения, паспорта крепления, способа и параметров охраны.

Значения подсосов воздуха из атмосферы подготовительной выработки, из которой пробурена дегазационная скважина, в зависимости от глубины герметизации ее устья, приведены в таблице. Эти данные приводятся для больших смещений кровли выработки (в диапазоне от 0,11 до 0,22 радиуса выработки). За единицу приняты объемы подсосов при отсутствии герметизации скважины, пробуренной перпендикулярно к кровле подготовительной выработки. Видно, что при глубине герметизации, равной 2,31 радиуса выработки, подсосы воздуха составят 12,62 %. Это имеет большое значение с учетом того, что дебит газа через скважину составляет всего 10 – 30 % общего значения подсосов в случае отсутствия герметизации. Фактически это равносильно тому, что каптируемый метан будет разбавляться воздухом до низкой концентрации (порядка 10 – 30 %), а эффективность дегазации (вакуум, КПД системы) падать, что и наблюдается на практике при недостаточной глубине герметизации скважин.

Глубина герметизации, равная 2,31 радиуса выработки, принята не случайно и при ширине сечения подготовительной выработки 5,2 м (радиус 2,6 м) составляет 6 м, рекомендуемых нормативными документами [9, 10]. Это не означает, что 6 м герметизации недостаточно для обеспечения эффективной дегазации пластов-спутников и газоносных песчаников и сохранения высокой эффективности работы дегазационной системы в целом. Для этого необходимо уменьшить смещения на контуре выработки ниже уровня 0,11 радиуса выработки.

Из таблицы видно, что с увеличением глубины герметизации до 3,85 радиуса выработки (для типичных сечений подготовительных выработок составляет примерно 10 м, рекомендуемых СОУ и Руководством) [9, 10] подсосы воздуха уменьшаются до 3,12 %, а при глубине герметизации, равной 5,77 радиуса (15 м для типичных сечений выработок), подсосы становятся пренебрежимо малыми.

Глубина герметизации		Утечки (подсосы воздуха в скважину), %
в метрах для типичной выработки	в радиусах выработки	
6	2,31	12,62
10	3,85	3,12
15	5,77	0,49

Подчеркнем, что управлять эффективностью дегазации подземных скважин можно не только регулируя смещения кровли подготовительной выработки, но и размеры ее сечения. Так, при ширине выработки в проходке 4,4 м глубина герметизации 6 м соответствует 2,73 радиуса выработки, тогда как при ширине выработки 6 м глубина герметизации составляет всего два радиуса, что приводит при одних и тех же смещениях кровли выработки к недопустимо большим утечкам и подсосам.

Как показали исследования, глубина герметизации устья дегазационной скважины зависит не только от смещений кровли подготовительной выработки, но и от допустимого уровня утечек воздуха в скважину через трещины, образующиеся вокруг устья. В связи с этим были построены графики изменения необходимой глубины l герметизации дегазационной скважины от смещений кровли u подготовительной выработки при разных уровнях утечек воздуха (рис. 5). Видно, что указанные зависимости описываются степенными функциями вида $l = au^b$.

Зависимости эмпирических коэффициентов a и b от допустимого уровня Δ утечек найдены путем обработки экспериментальных данных. В ито-

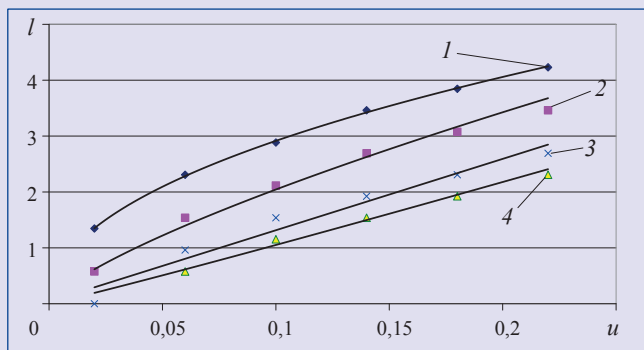


Рис. 5. Изменение необходимой длины l герметизации в зависимости от смещений u кровли и уровня утечек воздуха: 1 – 30 %; 2 – 20 %; 3 – 10 %; 4 – 5 %.

ге получена зависимость необходимой глубины герметизации устья дегазационной скважины от смещений кровли подготовительной выработки и уровня утечек воздуха:

$$l = 6,69\Delta^{0,173} u^{0,25\Delta^{0,435}}, \quad (4)$$

где Δ – допустимый уровень утечек (подсосов) воздуха через устье дегазационной скважины, %;
 u – смещения кровли выработки, выраженные в ее радиусах.

Рациональные параметры дегазационной скважины рассчитывают так. Сначала по Указаниям ВНИМИ [12] определяют смещения кровли в подготовительной выработке, которая будет поддерживаться или эксплуатироваться позади действующей лавы.

В качестве исходных данных для расчета учитывают глубину разработки, размеры сечения прилегающей к действующей лаве подготовительной выработки, имеющей сечение арочной формы, тип крепи и ее несущую способность, способ охраны выработки и его параметры, строение толщи пород вокруг выработки, угол их залегания и прочность каждого породного слоя, а также срок службы выработки.

Рассчитанные смещения кровли нормируют на значение радиуса сводовой части выработки и по полученному приведенному значению смещений кровли по формуле (3) определяют сосредоточенную деформацию устья дегазационной скважины, которая ориентирована перпендикулярно к породному обнажению кровли выработки. Если эта деформация превышает половину диаметра скважины, выполняют одно из следующих действий:

- увеличивают диаметр дегазационной скважины до размера, равного $2,5T_c u$;

- принимают меры по повышению устойчивости пород кровли выработки. В частности, целесообразно применять усиление кровли выработки на локальном участке вокруг устья дегазационной скважины с помощью сталеполимерных, канатных анкеров или стоечных крепей усиления;

- сокращают участок выработки позади лавы, в пределах которого производят дегазацию, а затем отключают скважину от дегазационного става;

- дегазационную скважину бурят позади лавы с таким расчетом, чтобы часть смещений на контуре выработки уже реализовалась, а оставшаяся часть имела допустимый уровень.

Весьма перспективна комбинация указанных способов обеспечения устойчивости устья дегазационной скважины. Так, бурение дегазационной скважины можно выполнить позади действующей лавы на расстоянии 25 – 30 м, причем вокруг устья скважины установить три-четыре канатных анкера с предварительным созданием натяжения в комбинации со стойками усиления. Это позволит частично нейтрализовать уже произошедшие в зоне активных сдвижений деформации кровли выработки, а также уменьшить их интенсивность после бурения дегазационной скважины, т. е. обеспечить безразмерные смещения кровли в окрестности устья скважины до допустимого уровня (0,11), хотя на остальных линейных участках выработки эти смещения могут превышать указанный уровень.

В более ранних рекомендациях и руководствах по дегазации предлагалось бурить дегазационные скважины из специальных ниш. Данная рекомендация весьма полезна, поскольку при бурении скважины из тупикового забоя ниши радиус сводовой части может не превышать 1,5 м. Кроме того, зона разрушений вокруг тупикового подготовительного забоя значительно меньше, чем на линейном участке выработки. Эти обстоятельства будут содействовать устойчивости устья дегазационной скважины.

Для сравнения указанные варианты просчитывают относительно затрат на их реализацию. Принимают наиболее приемлемый с технической и экономической точки зрения вариант и по формуле (4) определяют глубину герметизации устья дегазационной скважины, принимая во внимание заданный уровень допустимых утечек воздуха.

Полученная таким образом глубина герметизации является минимальной и соответствует ситуации, когда дегазационная скважина пробурена перпендикулярно к обнажению кровли горной выра-

ботки. В связи с этим уточняют окончательную глубину герметизации устья скважины с учетом углов ее подъема и разворота.

Выводы. Впервые исследованы деформации устья дегазационной скважины в зависимости от деформаций пород вокруг подготовительной выработки, из которой она пробурена.

Экспериментально доказано, что в зоне активных сдвижений позади действующей лавы, где выделяется основное количество взрывоопасного метана из массива устья дегазационных скважин, изменяются следующие основные виды необратимых деформаций:

растяжения вдоль оси скважины, содействующих утечкам метана и подсосам воздуха из шахтной атмосферы;

сосредоточенного сдвига, которые перерезают «живое» сечение канала дегазационной скважины, повышают ее аэродинамическое сопротивление и уменьшают дебит метана;

обрушения стенок скважины (негативный эффект оказывает также заполнение ее «живого» сечения обломками);

искривления оси скважины.

С удалением от контура подготовительной выработки расстояние между соседними сосредоточенными деформациями ствола скважин увеличивается в соответствии с логарифмической зависимостью, а указанные деформации распределяются согласно нормальному закону. Среднее значение сосредоточенной деформации дегазационной скважины находится в логарифмической зависимости от смещений на контуре подготовительной выработки.

Деформация растяжения оси дегазационной скважины уменьшается с удалением от контура выработки в глубь массива. Расслоения пород приводят к утечкам газа и подсосам воздуха, что снижает эффективность работы дегазации.

Допустимые сосредоточенные деформации ствола дегазационной скважины не должны превышать ее радиуса.

Установлена эмпирическая степенная зависимость необходимой длины герметизации дегазационной скважины от допустимых утечек и смещений кровли подготовительной выработки, из которой пробурена скважина.

Разработаны методики расчета необходимой глубины герметизации дегазационной скважины

и предложены мероприятия по повышению ее устойчивости, которые увеличивают надежность системы дегазации в целом и содействуют повышению безопасности подземной добычи угля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пучков Л. А. Динамика метана в выработанных пространствах угольных шахт / Л. А. Пучков, Н. О. Каледина. – М.: Изд-во МГГУ, 1995. – 314 с.
2. Совершенствование вентиляции и дегазации угольных шахт / А. Ф. Булат, Е. Л. Звягельский, Б. В. Бокий [и др.]. – Днепропетровск: Лира, 2005. – 214 с.
3. Касимов О. И. Эффективность направленных дегазационных скважин большого диаметра / О. И. Касимов, Б. В. Бокий // Геотехническая механика. – 2002. – Вып. 32. – С. 161 – 166.
4. Бокий Б. В. Управление газовойделением в высокопроизводительных лавах / Б. В. Бокий, В. А. Белый, О. И. Касимов // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. науч. тр. – Макеевка: Макеевка-Донбасс, 2004. – Ч. 1. – С. 16 – 27.
5. Тонелье Э. Б. Технология дегазации и утилизации / Э. Б. Тонелье // Доклады Международного семинара по дегазации угольных пластов: шахта им. Засядько. – Донецк, 2010. – С. 16 – 28.
6. Айруни А. Т. Проблемы разработки метаноносных угольных пластов, промышленного извлечения и использования шахтного метана в Карагандинском бассейне / А. Т. Айруни, Ю. Н. Малышев, К. Н. Трубецкой. – М.: РАН, 2002. – 320 с.
7. Studeny A. Numerical modeling for roadway support systems – a comparison for single and multiple seam mining / A. Studeny, D. Wittenberg // Proceeding 26th Int. Conf. on ground control in mining. West Virginia University. – USA, 2007. – P. 42 – 48.
8. Назимко В. В. Исследование связи между деформацией дегазационной скважины и ее аэродинамическими параметрами / В. В. Назимко, А. И. Демченко, П. А. Брюханов // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. науч. тр. – Макеевка: МакНИИ, 2010. – № 2 (26). – С. 25 – 42.
9. Дегазация угольных шахт. Требования к способам и схемы дегазации. СОУ 10.1.00174088.001–2004. – К.: Минтопэнерго Украины, 2004. – 162 с.
10. Руководство по дегазации угольных шахт. – М.: Минуглепром СССР. – 1990. – 186 с.
11. Ильницкая Е. И. Свойства горных пород и методы их определения / Е. И. Ильницкая, Р. И. Тедер, Е. С. Ватолин, Н. С. Кунтыш. – М.: Недра, 1969. – 392 с.
12. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР. – Л.: ВНИМИ, 1985. – 222 с.