

УДК 662.817.47

В.А. Стукало (канд. техн. наук)

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк

АНАЛИЗ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПРОГНОЗУ МЕТАНОВЫДЕЛЕНИЙ НА ВЫЕМОЧНЫХ УЧАСТКАХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Дан анализ методик прогноза метановыделений на выемочных участках угольных шахт, выявлены недостатки и указано на необходимость дополнительных исследований.

Ключевые слова: анализ, рекомендация, методика, прогноз, метан, выделение, пласт, лава, уголь, порода, участок.

В настоящее время прогноз относительного метановыделения из разрабатываемых угольных пластов, подрабатываемых, надрабатываемых пластов-спутников и вмещающих горных пород осуществляется в соответствии с методикой, изложенной в нормативном документе [1]. В тоже время имеются предложения [2,3] по существенному изменению расчетных зависимостей для определения относительного метановыделения из указанных выше источников на выемочных участках угольных шахт.

Так в действующем нормативном документе [1] расчет ожидаемых относительных метановыделений из груды очистного забоя $q_{оп}(м^3/т)$, отбитого угля в лаге $q'_{о.у.}(м^3/т)$ и в участковой конвейерной выработке $q''_{о.у.}(м^3/т)$, из пласта-спутника $q_{сп}(м^3/т)$ и из вмещающих газоносных горных пород $q_{пор}(м^3/т)$ рекомендуется определять соответственно по нижеследующим зависимостям:

$$q_{ii} = 0,85 \cdot \tilde{\sigma} \cdot \hat{e}_{i\tilde{e}} \cdot \exp(-n); \quad (1)$$

$$q'_{i.\hat{o}} = \tilde{\sigma} \hat{e}_{i\tilde{e}} [1 - 0,85 \tilde{a} \tilde{\sigma} \tilde{\alpha}(-n)] (\hat{a}_2 \hat{e}_{i.\hat{o}} + \hat{a}_c \hat{e}_{i\hat{o}}); \quad (2)$$

$$q''_{i.\hat{o}} = \tilde{\sigma} \hat{e}_{i\tilde{e}} [1 - 0,85 \tilde{a} \tilde{\sigma} \tilde{\alpha}(-n)] \hat{a}_2 \hat{e}''_{\hat{o}.\hat{o}}; \quad (3)$$

$$n = a_1 V_{i\tilde{e}} \tilde{a} \tilde{\sigma} \tilde{\alpha}(-0,001 \hat{I} + \hat{a}_1 V^{daf}) \quad (4)$$

$$q_{ii} = 1,14 V_{i\tilde{e}}^{-0,4} \frac{m_{\tilde{ii}.\hat{e}}}{m_{\hat{a}}} (\tilde{\sigma}_{\tilde{ii}.\hat{e}} - \tilde{\sigma}_{i.\hat{e}}) \left(2 - \frac{\hat{I}}{\hat{I}_{\hat{o}}} \frac{\tilde{\sigma}_{\hat{e}}}{\tilde{\sigma}} \right); \quad (5)$$

$$q_{ii} = 1,14 V_{i\tilde{e}}^{-0,4} (\tilde{\sigma} - \tilde{\sigma}_0) \hat{e}_{\tilde{ii}} (\hat{I} - \hat{I}_0), \quad (6)$$

где x – природная метаноносность пласта, $м^3/т$;

$k_{пл}$ – коэффициент, учитывающий влияние системы разработки на метановыделение из разрабатываемого пласта, доли ед.

n – показатель степени, зависящий от скорости подвигания очистного забоя $V_{оч}$ (м/сут), выхода летучих веществ из угля $V^{daf}(\%)$ и глубины разработки H (м);

v_2, v_3 – коэффициенты, учитывающие долю отбитого угля, соответственно находящегося на конвейере и оставляемого на почве в лаге, доли ед.;

$\kappa_{т.у.}$, $\kappa'_{т.у.}$, $\kappa''_{т.у.}$ – коэффициенты, учитывающие степень дегазации отбитого угля соответственно в очистной выработке на конвейере ($\kappa_{т.у.}$), на почве в лаве ($\kappa'_{т.у.}$) и на конвейере в выработке выемочного участка ($\kappa''_{т.у.}$), доли ед.;

$m_{сп.i.}$ – суммарная мощность угольных пачек i -го спутника, м;

$x_{сп.i.}$ – природная метаносность i -го спутника, м³/т;

$m_{сп.i.}$ – расстояние по нормали между кровлей разрабатываемого и почвой сближенного (при подработке) пластов и между почвой разрабатываемого и кровлей сближенного (при наработке) пластов, м;

M_p – расстояние по нормали между разрабатываемым и сближенным пластами, при котором метановыделение из последнего практически равно нулю, м;

m_b – вынимаемая полезная мощность разрабатываемого пласта, м;

x_0 – остаточная метаносность угля, м³/т;

$\kappa_{сп}$ – коэффициент, учитывающий влияние способа управления кровлей и литологический состав пород, доли ед.;

H – глубина ведения горных работ, м;

H_0 – глубина верхней границы зоны метановых газов, м;

В проекте более поздних нормативных документов [2,3] для расчета указанных выше величин предлагаются существенно измененные зависимости:

$$q_{\tilde{n}} = \hat{e}_{\tilde{v}} (\tilde{\delta} - \tilde{\delta}_0) (1 - n); \quad (7)$$

$$n = 0,393 \cdot V_{оч}^{0,45} \cdot \exp(-0,0034H) \left[0,0015(26 - V^{daf})^2 + 0,95 \right] \quad (8)$$

$$q'_{\tilde{i}.\tilde{\delta}.} = \hat{e}_{\tilde{v}} [(\tilde{\delta} - \tilde{\delta}_0)n + x_0] \hat{a}_1 \hat{e}_{\tilde{\delta}.\tilde{\delta}.} + \hat{a}_2 \hat{e}_{\tilde{\delta}.\tilde{\delta}.}'; \quad (9)$$

$$q''_{\tilde{i}.\tilde{\delta}.} = \hat{e}_{\tilde{v}} [(\tilde{\delta} - \tilde{\delta}_0)n + x_0] \hat{a}_1 \hat{e}_{\tilde{\delta}.\tilde{\delta}.}''; \quad (10)$$

$$q_{\tilde{n}.\tilde{\delta}.} = V_{\tilde{t}.\tilde{\delta}.}^{\hat{e}_{\tilde{v}}-1} \frac{m_{\tilde{n}.\tilde{\delta}.}}{m_{\tilde{a}}} (\tilde{\delta}_{\tilde{n}.\tilde{\delta}.} - \tilde{\delta}_{\tilde{t}.\tilde{\delta}.}) \left(1 - \frac{\dot{I}_{\tilde{n}.\tilde{\delta}.}}{\dot{I}_{\tilde{\delta}.}} \right); \quad (11)$$

$$\hat{e}_v = 0,58 \exp(0,00026H); \quad (12)$$

$$q_{\tilde{n}\tilde{\delta}} = V_{\tilde{t}.\tilde{\delta}.}^{K_v-1} (\tilde{\delta} - \tilde{\delta}_0) \hat{e}_{\tilde{n}.\tilde{\delta}.} (\dot{I} - \dot{I}_0); \quad (13)$$

Кроме того, неодинаковы зависимости для определения остаточной метаносности угля $x_{0.г.}$ (м³/тс.б.м.). В действующем нормативном документе [1].

$$x_{i\tilde{a}} = 18,3 (V^{daf})^{-0,6} \quad (14)$$

В проектах новых нормативных актов [2,3]

$$x_{i\tilde{a}} = 26,2 (V^{daf})^{-0,6} \exp(-0,012t_{\tilde{t}}) \quad (15)$$

где $t_{\tilde{t}}$ – температура угольного массива на глубине разработки пласта, °С.

В общедоступной технической литературе не приведен анализ и сравнения указанных зависимостей, поэтому целью данной статьи является выявление недостатков и сравнительная оценка получаемых по этим зависимостям величин.

Сначала выясним соотношение величин $x_{o.g.}$, получаемых по выражениям (14) и (15), характер влияния выхода летучих веществ, температуры горных пород. Это, безусловно, необходимо, так как на величину остаточной метаноносности угля влияет сорбционная способность угля, зависящая и от температуры.

Нами были произведены расчеты величин $x_{o.g.}$ по выражением (14) и (15) при изменении выхода летучих веществ в диапазоне от 3,6% до 43% и естественной температуры угля в пласте в пределах от 20°C (глубина 400 м) до 50°C (глубина 1500 м).

Результаты сравнения величин $x_{o.g.}$, получаемых по выражениям (14) [1] и (15) [2,3] позволяют отметить следующее.

Выражение (14) для расчета остаточной метаноносности угля $x_{o.g.}$ (м³/тс.б.м.) не учитывает влияние температуры угля в источниках метановыделения, хотя известно, что от температуры угля зависит его сорбционная способность. Это естественно будет вносить определенные погрешности в величины $q'_{o.y.}$, $q''_{o.y.}$, $q_{сп.}$, $q_{пор.}$ при расчете их значений по формулам (2), (3) и (5), (6).

В отличие от формулы (14) в выражении (15) для расчета величины остаточной метаноносности угля $x_{o.g.}$ (м³/тс.б.м.) кроме выхода летучих веществ $V^{daf}(\%)$ учитывается естественная температура горных пород $t_p(^{\circ}C)$ на глубине расположения выемочного участка.

При естественной температуре в угольном пласте 30°C значения $x_{o.g.}$, получаемые по формулам (14) и (15) во всем диапазоне изменения выхода летучих веществ одинаковы, а при других температурах существенно отличаются; в выражении (14) влияние температуры на величину $x_{o.g.}$ не учитывается.

При повышении естественной температуры горных пород в диапазоне от 30°C до 50°C величина $x_{o.g.}$, получаемая по формуле (15), уменьшается в среднем на 21,33%, а при снижении температуры горных пород от 30°C до 20°C увеличивается на 12,74% во всем диапазоне изменения летучих веществ от 3,6% до 43%. Общее снижение величины $x_{o.g.}$, получаемое по выражению (15), при увеличении температуры угля от 20°C до 50°C составляет 34,1%. Такое изменение величины $x_{o.g.}$ может привести к существенному уменьшению параметра x_0 (м³/т) увеличению разности $x-x_0$ и расчетных значений относительных и абсолютных метановыделений из пластов-спутников и газоносных пород, обнаженной поверхности пласта в лаве и отбитого угля.

Не отрицая необходимости учета температуры, при которой находится источник метановыделения (ввиду зависимости сорбционной способности угля от температуры), необходимо отметить, что температура угля в пластах-спутниках, обнаженной поверхности пласта в лаве, отбитого угля, газоносных пород существенно отличается от величины естественной температуры углепородного массива на глубине ведения очистных работ, и неучет этого безусловно будет вносить определенные погрешности в результаты расчетов величин $q_{сп.}$, $q'_{o.y.}$, $q''_{o.y.}$, $q_{сп.}$, $q_{пор.}$ по выражениям (7), (9)/(11) и (13).

С целью выяснения диапазона изменения параметра n нами были произведены расчеты его значений по выражениям (4) и (8) при выходе летучих веществ $3,6\% \leq V^{daf} \leq 48,4\%$, глубинах разработки $400 \text{ м} \leq H \leq 1500 \text{ м}$ и скоростях продвижения очистного забоя $1,89 \text{ м/сут} \leq V_{оч} \leq 6,93 \text{ м/сут}$.

Анализ результатов расчетов параметра n по выражениям (4) и (8) позволяет отметить следующее.

Зависимость (8) для параметра n аналогична выражению (4) по используемым величинам, однако имеет существенные недостатки. Так при $n > 1$, что как показывают расчеты получаем при выходе летучих веществ до 12% и свыше 40%, рекомендовано [2,3] принимать $n=1$. Это свидетельствует о неадекватности выражения (8) реальным условиям. Учитывая вид формулы (8), величины параметра n для угольных пластов с выходом летучих веществ до 26% и более 26% получаются одинаковыми при одном и том же значении сомножителя в квадратных скобках $(26 - V^{daf})^2$ и неизменных других данных. Формула (8) рекомендована [2,3] к применению для глубин разработки до и более 1500 м и скоростей подвигания очистных забоев до 7 м/сут, а опытная проверка произведена [3] только до глубины 1278 м и скорости подвигания лавы до 4,1 м/сут. Это может внести погрешности при расчете параметра n и величин $q_{оп}$, $q'_{о.у.}$, $q''_{о.у.}$ по формулам (7), (9) и (10).

Характер изменений параметра n при расчете его по выражениям (4) и (8) одинаков. При увеличении скорости подвигания лавы значение параметра n увеличивается, а при увеличении глубины разработки – уменьшается. При увеличении выхода летучих веществ до 22% по формуле (4) и до 26% по формуле (8) параметр n уменьшается, а при выходе летучих веществ больше указанных выше – увеличивается.

Выражение (4) учитывает глубину разработки только до $H = 1000$ м, а при большей глубине рекомендовано [1] принимать $H = 1000$ м, что свидетельствует о недостаточном учете реальных условий в данной зависимости. При этом получаем значения $q_{оп}$, $q'_{о.у.}$, $q''_{о.у.}$, $q_{о.у.}$ и соответствующие и абсолютные метановыделения $I_{оп}$, $I'_{о.у.}$, $I''_{о.у.}$, $I_{о.у.}$ при глубинах разработки $H > 1000$ м такими же как для глубин $H = 1000$ м.

Принятие значения глубины разработки $H = 1000$ м при расчете показателя n по формуле (4) для глубин разработки более 1000 м [1] также может внести определенные погрешности в результаты расчета величин $q_{оп}$, $q'_{о.у.}$, $q''_{о.у.}$ и $q_{о.у.}$ соответственно по формулам (1) - (3), (5) и (6).

Зависимость (8) для параметра n не учитывает глубин разработки $H > 1500$ м, так как при его расчете рекомендуется подставлять $H = 1500$ м. При расчете параметра n по выражению (8) для пластов с выходом летучих веществ до 12% и свыше 40% получаются значения параметра $n > 1$. Это охватывает большое количество пластов угля в угольных бассейнах страны, хотя для расчетов величин $q_{оп}$, $q'_{о.у.}$, $q''_{о.у.}$ при этом рекомендуется принимать $n = 1$ [2,3], что свидетельствует о недостаточном учете в выражении (8) реальных условий метановыделений из обнаженной поверхности угля в лаве и отбитого угля.

Нами также были произведены расчеты величин относительного и абсолютного метановыделений из обнаженной поверхности угольного пласта в очистной выработке по выражениям (1) и (7) при изменении глубины разработки в пределах 400 – 1500 м, скорости подвигания очистного забоя от 0,63 м/сут до 6,93 м/сут., природной метаносности пластов $x = 20$ м³/т и выходе летучих веществ 25%. При этом абсолютные метановыделения из обнаженной поверхности пласта в лаве определялись по формуле:

$$I_{ii} = \frac{q_{ii} A_{i-}}{1440}, \quad (16)$$

где $A_{оч}$ – нагрузка на очистной забой, т/сут.

Анализ результатов расчетов величин $q_{оп}$ и $I_{оп}$ позволяет отметить следующее:

- относительные метановыделения $q_{оп}$ ($\text{м}^3/\text{т}$), подсчитанные по выражениям (1) и (7) при скорости подвигания лавы $0,63 \text{ м/сут}$ при глубинах разработки $400 - 1500 \text{ м}$ и соответствующие им абсолютные метановыделения примерно одинаковы в условиях отработки пласта на одной и той же глубине (отличие менее 5%);

- с увеличением скорости подвигания очистного забоя от $0,63 \text{ м/сут}$ до $6,93 \text{ м/сут}$ относительные метановыделения из груди очистного забоя уменьшаются, а абсолютные изменяются неоднозначно; при расчете величин $I_{оп}$ ($\text{м}^3/\text{мин}$) по выражению (16) с учетом параметров $q_{оп}$ ($\text{м}^3/\text{т}$), определенных по формуле (1) [1] и увеличении скорости подвигания очистного забоя они уменьшаются, а при расчете величин $I_{оп}$ ($\text{м}^3/\text{мин}$) по выражению (16) с учетом параметров $q_{оп}$ ($\text{м}^3/\text{т}$), вычисленных по формуле (7) [2,3] в тех же условиях, значения абсолютных метановыделений из обнаженной поверхности пласта в лаве возрастают, за исключением случаев, когда параметр n , получаемый по формуле (8), больше единицы, и его рекомендовано [2,3] принимать равным единице;

- при получении расчетом $n > 1$ по выражению (8) и выполнении рекомендаций приведенных в [2,3] о принятии $n = 1$, относительное метановыделение из обнаженной поверхности пласта в лаве $q_{оп}$ ($\text{м}^3/\text{т}$) согласно формулы (7) и соответствующее ему абсолютное метановыделение $I_{оп}$ ($\text{м}^3/\text{мин}$) будет равно нулю чего просто не может быть и, следовательно, зависимость (7) не соответствует реальным условиям;

- при увеличении выхода летучих веществ от $3,6\%$ до 44% относительные и абсолютные метановыделения из обнаженной поверхности очистного забоя сначала (до $V^{daf} = 22\%$) по [1] и до $V^{daf} = 26\%$ по [2,3] увеличиваются, а при дальнейшем возрастании величины V^{daf} – уменьшаются;

- при высоких скоростях подвигания очистного забоя ($V_{оч} > 1,89... 3,15 \text{ м/сут}$) относительные и абсолютные метановыделения из груди забоя в лаве при расчете по рекомендациям [2,3] значительно превышают получаемые по рекомендациям нормативного документа [1];

- при увеличении глубин разработки от 400 м до 1500 м относительные и абсолютные метановыделения из обнаженных поверхностей пласта в лаве, пластов-спутников из вмещающих горных пород, рассчитываемые по рекомендациям [1,2,3] увеличиваются;

- на глубинах более 1000 м относительные и абсолютные метановыделения из пластов-спутников, рассчитанные по рекомендациям [2,3] существенно выше рассчитанных по рекомендациям нормативного документа [1];

- при увеличении скорости подвигания лавы и нагрузки на очистной забой относительные метановыделения из пластов-спутников, газоносных горных пород уменьшаются, а абсолютные метановыделения – увеличиваются вследствие неодинакового влияния величины нагрузки на эти параметры;

- относительные метановыделения в выработки выемочного участка при увеличении скорости подвигания лавы уменьшаются, а абсолютные метановыделения – увеличиваются;

- при возрастании глубины разработки относительные и абсолютные метановыделения в выработки выемочного участка увеличиваются;

- метановыделения (относительные и абсолютные) в выработки выемочного участка, получаемые по рекомендациям [2,3] при скоростях подвигания лавы более 3 м/сут значительно превышают аналогичные метановыделения, получаемые по нормативному документу [1].

Необходимо отметить, что измененные формулы для величин n , $q_{оп}$, $q'_{о.у.}$, $q''_{о.у.}$, $q_{сп}$ и $q_{пор}$ в рекомендациях [2,3] по сравнению с нормативным документом [1]

используют параметры n и k_v зависимости для которых (8) и (12) получены и проверены только до глубины разработки $H = 1278$ м, скорости подвигания лавы до $V_{оч} = 4,1$ м/сут, а зависимости (7)...(13) предлагается использовать до глубины горных работ 1500 м и более и скорости подвигания лав до 7 м/сут, что не подтверждено опытными данными.

Учитывая вышеуказанные недостатки зависимости (7)...(13) нельзя рекомендовать в нормативно-правовой акт по охране труда «Вентиляция угольных шахт. Руководство по проектированию». Необходимы дальнейшие исследования особенно на глубинах, превышающих 1200 м и при скоростях подвигания лав в пределах от 4 м/сут до 7 м/сут.

Список литературы

1. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт: Государственный нормативный акт по охране труда. – К., 1994. – 311 с.
2. Вентиляция угольных шахт. Руководство по проектированию. Проект нормативно-правового акта по охране труда.
3. Методика прогноза газообильности горных выработок шахт при отработке пологих и наклонных угольных пластов до глубины 1500 м. – Макеевка – Донбасс, 1995. – 29 с.

Надійшла до редколегії 31.05.2012

В.А. Стукало

Донецький національний технічний університет, Донецьк

АНАЛІЗ РЕКОМЕНДАЦІЙ ДО ПРОГНОЗУ МЕТАНОВИДІЛЕНЬ НА ВИЙМКОВИХ ДІЛЬНИЦЯХ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ

Приведено аналіз методик прогнозу метановиділень на виймкових ділянках вугільних шахт, виявлені недоліки у розрахункових залежностях та вказано на необхідність поширення області досліджень з глибини розробки та швидкості просування лав.

Ключові слова: аналіз, рекомендація, методика, прогноз, метан, виділення, пласт, лава, вугілля, порода, ділянка.

V.A. Stukalo

Donetsk National Technical University, Donetsk

ANALYSIS OF RECOMMENDATIONS TO PROGNOSIS OF METHANE EMISSION IN EXTRACTION AREAS OF COAL MINES

The paper presents the analysis of techniques of forecasting methane emission in excavations of coal mines.

Keywords: analysis, recommendations methods, forecast, methane, separation, plast, lava, coal, breed, plot.