

Для организации работ непосредственно по проектам изучения и утилизации угольного метана в 2001г. создан общественный «Метановый Центр Казахстана». Задачами центра являются разработка проектов и координация их выполнения.

Первоочередными направлениями работ центра на 2001-2002гг являются разработка Национальной Базы данных по угольному метану, подготовка справочника по угольному метану Казахстана, сравнительный анализ законодательства Казахстана и зарубежных стран и подготовка предложений по его совершенствованию с целью привлечения иностранных инвестиций в разведку, добычу и утилизацию метана угольных месторождений.

УДК 622.279:622.33(477.62)

В.В. Лукинов, В.В. Фичёв, А.П. Клец,
ИГТМ НАН Украины, Минтопэнерго Украины

ПРИНЦИПЫ ОЦЕНКИ РЕСУРСОВ ИЗВЛЕКАЕМОГО МЕТАНА ИЗ ПОДРАБОТАННОЙ УГЛЕПОРОДНОЙ ТОЛЩИ

Запропоновано механізм та умови утворення зональної дезінтеграції вуглепородної товщі, яка розташована вище відроблених вугільних пластів. Приведено принципи та приклади оцінювання ресурсів метану придатних до вилучення із підробленого вуглепородного масиву.

PRINCIPLES OF ESTIMATING THE RESERVES OF EXTRACTED METHANE FROM UNDERMINING COAL ROCK COVER THICKNESS

A mechanism and conditions for creating the disintegration of coal rock cover thickness located above the undermining coal seams is proposed. The principles and examples of estimating the methane resources in undermining coal rock beds are demonstrated.

При ведении очистных и подготовительных работ геодинамические процессы охватывают всю вышележащую толщу горных пород, иногда достигая земной поверхности в границах мульды сдвижения, площадь которой всегда больше площади выемки угольного пласта или породы.

Формирование зон дренирования в породах кровли разрабатываемого пласта происходит по мере увеличения площади выработанного пространства. После выемки угля происходит обрушение ложной кровли, слои непосредственной кровли прогибаются, расслаиваются, в них возникают

секущие трещины, приводящие к образованию блоков, которые также обрушаются, заполняя выработанное пространство разрыхленной породой, которая создаёт подпор вышележащей основной кровле. Основная кровля прогибается, в ней формируются трещины расслоения и отдельные секущие трещины, преимущественно в нижней части основной кровли. Над породами основной кровли формируется зона разуплотнения с отдельными трещинами расслоения.

Процессы сдвижения горных пород приводят к перераспределению напряжений в массиве. В зонах опорного давления породы уплотняются, а в зонах обрушения разрыхляются. В настоящей работе рассматривается геомеханическая модель лишь в определённый момент времени от начала выемки угля до обрушения – «посадки» пород основной кровли, поскольку именно в этот период происходит основное поступление метана в лаву.

По характеру и степени деформирования горных пород подрабатываемой толщи можно выделить 4 основные зоны /1/. Зона I – беспорядочного обрушения горных пород; зона II – упорядоченного обрушения и проседания горных пород; зона III – разуплотнения горных пород и активных трещин расслоения и секущих вертикальных; зона IV – зарождения трещин расслоения и секущих трещин (Рис. 1).

Такая модель формирования зон деформаций над выработанным пространством позволяет оценить её с позиций дренирования газа. Наибольший приток газа в лаву будет из I и II зон за счёт его выделения из разрушенных, разрыхленных и расчленённых на блоки пород. Зона III, после формирования зон I и II, вначале прогибается, и лишь затем в ней формируются трещины. Газ из этой зоны может попадать в выработанное пространство за лавой и увеличивать фоновое значение концентрации метана. Зона IV является зоной аккумуляции газа, и её формирование по времени происходит позже. Анализ проведения дегазационных мероприятий на шахтах Донбасса показывает, что по фактору влияния на аэрогазодинамическую обстановку работающей шахты метан подработанной угленосной толщи можно условно разделить на две части: «быстрый газ» – метан, увеличивающий газообильность работающей лавы иногда в 2 и более раз, который поступает из I и II зон, и «медленный газ» – метан, содержащийся в III и IV зонах, который медленно дренирует в выработанное пространство, повышая фоновую концентрацию. Исходя из этого дегазационные мероприятия также необходимо разделять по извлечению метана из зон: в первую очередь из I и II и, затем, из III и IV.

Рассмотрим процессы извлечения «быстрого газа» горизонтальными длинными скважинами, пробуренными из горных выработок и «медленного газа» – скважинами, пробуренными с поверхности (см. Рис. 1). В каждом случае оценим извлекаемые ресурсы метана, место заложения и конструкции скважин.

При бурении длинных дегазационных горизонтальных скважин над угольным пластом необходимо решить две задачи: забрать «быстрый газ» и продлить жизнь скважины. Этим условиям отвечает положение скважины в зоне III, но как можно ближе к зоне II.

В этой связи необходимо рассчитать расстояние от кровли разрабатываемого пласта до верхней границы зоны II (M_2). Для расчёта M_2 воспользуемся формулой, приведенной в работе [1]:

$$M_2 = \frac{C_2 \cdot m_{\text{отр}}}{\epsilon_{\text{п.с.}} \cdot \Delta K_\alpha} \quad (1)$$

где C_2 – коэффициент, учитывающий зависимость горизонтальных деформаций слоёв в различных зонах, изменяющийся в пределах 0,1-0,2;

$m_{\text{отр}}$ – вынимаемая мощность пласта, м;

$\epsilon_{\text{п.с.}}$ – предельные относительные деформации сжатия, при которых происходит разрушение горных пород; для песчаников, алевролитов и аргиллитов изменяется от 0,010 до 0,012;

ΔK_α – поправочный коэффициент, учитывающий влияние угла падения пород на развитие деформаций толщи.

Поправочный коэффициент ΔK_α определяется по формуле:

$$\Delta K_\alpha = \frac{0,75}{0,75 - 0,16 \cdot \frac{\alpha}{\rho}} \quad (2)$$

где α – угол падения пород;

ρ – переводной коэффициент, 57° .

С увеличением вынимаемой мощности угольного пласта значение M_2 увеличивается, а с увеличением угла падения пород – уменьшается.

Полученные значения M_2 показывают, что длинные горизонтальные дегазационные скважины целесообразно располагать как можно ближе к верхней границе зоны II, то есть расстояние от кровли пласта до забоя скважины должно быть больше M_2 на величину ΔM_2 . Величина ΔM_2 плавно увеличивается от устьевой части к забою скважины. Угол наклона скважины зависит от её длины и конфигурации. В этом случае, приустьевая часть скважины располагается на расстоянии M_2 от кровли пласта. Выбор расположения скважины также зависит от литологического состава пород кровли. Наиболее благоприятное расположение скважин в песчаниках, что уменьшает вероятность их деформаций, повышает устойчивость и срок службы (эксплуатации). Как показали расчёты для конкретных горно-геологических условий, верхняя граница зоны II располагается в интервале 22-25 м над пластом (пласты m_3 и l_1 , шахта им. О.Ф. Засядько).

Если положение дегазационных скважин в вертикальном разрезе контролируется величиной M_2 , то в плане, как показывает практика, наиболее целесообразно располагать скважины в верхней трети лавы. Такое

положение обусловлено стремлением метана двигаться в направлении вверх по восстанию пласта и от массива к забою.

В соответствии с поставленной задачей оцениваются ресурсы метана в подрабатываемой толще пород, располагающихся над отрабатываемым угольным пластом. Объем пород, в которых оцениваются ресурсы метана рассчитывается исходя из выбранной геомеханической модели изменения состояния пород, подрабатываемых лавой. Ресурсы метана рассчитываются исходя из литологического состава пород кровли, как сумма свободного метана из песчаников и десорбированного – из рассеянного органического вещества (РОВ) в алевролитах, аргиллитах (глинистых сланцев), а также из прослоев угля – пластов спутников.

Генезис метана на угольных месторождениях связан непосредственно с процессами метаморфизма угольного вещества, которое в концентрированном виде слагает угольные пласты и пропластки, а в РОВ находится в породах угленосной толщи. Содержание РОВ в породах зависит от условий их образования. Наибольшее количество РОВ находится в породах лагунных и болотных фаций, глинистых и углисто-глинистых, глинисто-алевритовых отложениях. По данным приведенных в работе /2/ содержание растительного детрита колеблется в песчаниках от 0,2 % до 1,3 %, в алевролитах от 3,7 % до 7,3 %, в аргиллитах от 6,0 % до 9,0 %. В отдельных случаях содержание РОВ может достигать 10-15 %.

Газоносность угля в процессе геологической разведки оценивается в $\text{м}^3/\text{т.с.б.м.}$ (x). Для расчёта количества газа, выделяемого из 1 тонны добытого угля (q_y , $\text{м}^3/\text{т}$) воспользуемся формулой:

$$q_y = \frac{(x - x_0) \cdot (100 - A^P - W^a)}{100}, \quad (3)$$

где x , x_0 – природная и остаточная газоносность угля, $\text{м}^3/\text{т.с.б.м.}$;

A^P – рабочая зольность, %;

W^a – аналитическая влага, %.

Для расчёта дебита газа, сорбированного РОВ в породах (q_{po} , $\text{м}^3/\text{т}$) и выделяющегося в процессе их дезинтеграции, разуплотнения и растрескивания, в формуле (3) значение A^P – рабочая зольность, необходимо заменить на A^d – материнская зольность.

$$q_{po} = \frac{(x - x_0) \cdot (100 - A^d - W^a)}{100}, \quad (4)$$

Остаточная газоносность определяется по руководству /3/ и зависит от марки добываемого угля.

В процессе выемки 1 тонны угля (вынимаемая мощность m) обнажается поверхность кровли (S , $\text{м}^2/\text{т}$). Величина S рассчитывается по формуле:

$$S = \frac{1}{1,3 \cdot h_y + 2,5 \cdot h_{\text{п}}}, \quad (5)$$

где 1,3 – плотность угля, т/м³;

h_y – мощность вынимаемых пачек угля, м;

2,5 – плотность пород, т/м³;

$h_{\text{п}}$ – мощность вынимаемых породных прослоев, м.

Газовыделение из вмещающих пород кровли угольного пласта ($q_{\text{к}}$, м³/т) определяется по формуле:

$$q_{\text{к}} = S \cdot h_i \cdot C_{\text{oi}} \cdot q_{\text{ро}}, \quad (6)$$

где h_i – мощность литологической разности пород кровли, м;

C_{oi} – среднее содержание объёма РОВ в породе, м³/м³;

для аргиллитов – 0,08; для алевролитов – 0,06; для песчаников – 0,003.

Газовыделения из песчаников в основном обусловлены выделением свободного метана из пор, поэтому ресурсы газа в песчаниках определяются по формуле:

$$q_{\text{п}} = \frac{S \cdot h_{\text{п}} \cdot K_{\text{э}} \cdot P \cdot K_{\text{извл.}}}{P_1}, \quad (7)$$

где $q_{\text{п}}$ – ресурсы метана в песчанике, м³/т;

$h_{\text{п}}$ – мощность песчаника, м;

$K_{\text{э}}$ – коэффициент эффективной пористости, объём газа (м³) в 1 м³ породы;

P – давление газа; при гидростатическом давлении $P = 0,1 \cdot \gamma \cdot H$;

γ – плотность воды 1 т/м³; H – глубина залегания от земной поверхности;

$K_{\text{извл.}}$ – коэффициент извлечения метана, равен 0,75;

P_1 – атмосферное давление, равное 1 атм.

Расчёт ресурсов метана проводится в интервале, ограниченном расстоянием M_2 . Применение формул (6) и (7) позволяет рассчитывать удельные ресурсы метана, приходящиеся на одну тонну добываемого угля. Зная производительность лавы в сутки, месяц или год, можно рассчитать дебиты метана по времени работы.

Пример расчёта ресурсов метана из I и II зон для горно-геологических условий шахты им. А.Ф. Засядько представлен в таблице.

Для оценки корректности выполненных расчётов сравним полученные результаты с данными, полученными на шахте. Метанообильность 15 восточной лавы пласта m_3 по данным шахтных служб составляет 34,6 м³/т.с.д. (на тонну суточной добычи угля). Из пород почвы выделяется примерно 5 % или 1,7 м³/т метана. Таким образом, на долю метана, выделяющегося из пород кровли и угольного пласта, приходится 32,9 м³/т. Раз-

ность между расчётными и фактическими данными составляет 1,3 м³/т или 4,0 %. Нестабильность процесса газовыделения в горные выработки, обусловленная притоком метана из вышележащих зон (III и IV) через выработанное пространство может вносить коррективы в полученные значения, однако, посчитанные ресурсы представляют собой как раз тот метан, который постоянно выделяется в лаву в процессе её отработки.

Таблица

Ресурсы метана при добыче 1 тонны угля

Наименование лавы	В пласте, м ³ /т	В породах кровли, м ³ /т			Всего в пласте и в кровле, м ³ /т
		сорбированный	свободный	всего	
16 восточная, пласт m_3	15,9	10,0	5,7	15,7	31,6
10 западная, пласт l_1	14,2	2,4	11,4	13,8	28,0
12 восточная, пласт l_1	14,3	3,7	11,0	14,7	29,0

Извлечение метана из III и IV зон осуществляется эксплуатационными и, в случае необходимости, дренажными скважинами, пробуренными с поверхности. В зависимости от параметров III и IV зоны, их обводненности, свойств горного массива, гипсометрии пластов, рельефа и застроенности поверхности, выбирается количество эксплуатационных и дренажных скважин.

Конструкция эксплуатационной скважины предусматривает крепление обсадными трубами и цементацию затрубного пространства от поверхности до верхней границы IV зоны, а ниже – крепление перфорированными трубами без цементации на полную мощность III и IV зон (см. Рис. 1). Диаметр скважин зависит от ожидаемого дебита, величины давления газа, необходимости установки в главной колонне става насосно-компрессорных труб (НКТ) и др. Обязка устья эксплуатационной скважины осуществляется запорной и фонтанной арматурой аналогично газовым скважинам и должна позволять производить периодические замеры давления и температуры газа. Расположение эксплуатационных скважин предусматривается в вершинах купольных структур, а также по осям антиклинальных складок в зонах повышенной нарушенности горного массива.

Эксплуатация скважин осуществляется в напорном режиме, а затем, после падения давления газа до атмосферного – в режиме вакуумирования.

Дренажные скважины бурятся в случае, когда эксплуатационные скважины обводнены и нет возможности их осушения с помощью НКТ. Они бурятся малым диаметром до выработанного пространства. От земной

поверхности до верхней границы IV зоны скважины крепятся цельными трубами с цементацией затрубного пространства. Ниже, на всю глубину, скважины обсаживаются перфорированными трубами без цементации. В крепких горных породах этот интервал можно не обсаживать. Дренажные скважины размещаются в приосевых зонах синклинальных складок.

Существующие в настоящее время методики определения содержания метана и прогноза метановыделения из разрабатываемого пласта, подработанных сближенных пластов, пород, содержащих свободный газ в трещиновато-пористом пространстве и сорбированный метан в РОВ вмещающих пород /3/ предполагают наличие предельного расстояния от разрабатываемого пласта, за которым сдвигание пород не приводит к выделению газа, то есть из окружающего массива поступает только некоторая часть содержащегося в нём метана. Особенностью представленной оценки является учет степени расслоения и трещиноватости массива по величине предельных деформаций растяжения горных пород, а также то, что ранее оценка ресурсов метана, которые можно извлечь после отработки рабочих угольных пластов из углепородного массива в границах добычного участка, крыла, части шахтного поля или всей шахты, не проводилась.

Источниками содержания метана в III и IV зонах разгруженного углепородного массива являются подработанные и надработанные угольные пласты и пропластки, содержащие сорбированный и свободный метан (q_{yi} , м³/т), а также газоносные вмещающие породы, содержащие свободный метан в трещиновато-пористом пространстве (песчаники, известняки) (q_{pi} , м³/т). Метан, связанный в РОВ в породах III и IV зон не оценивается, исходя из того, что скорости его десорбции в реальном факторе времени относительно невелики. То есть, общее относительное содержание метана в подработанной угленосной толще будет

$$q = \sum q_{yi} + \sum q_{pi} \quad (8)$$

Ожидаемое метановыделение как из подработанного, так и из надработанного угольного пласта или пропластка q_{yi} можно определить по формуле

$$q_{yi} = (x_o - x_{oi}) \cdot k_{эф.р.} \cdot (1 - k_{дег}) , \quad (9)$$

где $k_{дег}$ – коэффициент эффективности дегазации источника газоразделения, определяется в процессе проведения дегазационных мероприятий при работе шахты по добыче угля. По данным Руководства по дегазации угольных шахт /4/ значение $k_{дег}$ при дегазации скважинами, пробуренными из выработок на сближенный пласт для подработанной толщи равно 0,4-0,8, надработанной толщи – 0,3-0,5. При отсутствии мероприятий по дегазации $k_{дег} = 0$.

$k_{эф.р.}$ – коэффициент эффективности разгрузки подработанной тощи по аналогии с нормативным руководством /3/ определяется по формуле

$$k_{\text{эф.р.}} = \left(1 - \frac{M_{yi}}{M_p}\right), \quad (10)$$

где M_{yi} – расстояние по нормали между отработанным и подработанным пластами, м.

M_p – расстояние эффективной подработки – расстояние по нормали от отработанного угольного пласта до подработанного (надработанного) пласта или пропластка, при котором газовыделение из последнего практически равно нулю, м.

Величина $k_{\text{эф.р.}}$ влияет на интенсивность трещинообразования, газопроницаемость массива. При увеличении коэффициента разгрузки улучшаются фильтрационные свойства массива, растёт скорость десорбции связанного метана, повышается газоотдача. Очевидно, что $k_{\text{эф.р.}}$ имеет смысл при $0 < \frac{M_{yi}}{M_p} < 1$ и зависит от мощности отработанных пластов, способа управления кровлей, литологического состава и физико-механических характеристик вмещающих пород.

Инструментальными шахтными наблюдениями /1/ определено условие, при котором в подработанных породах возможно возникновение сквозной трещины, способной к фильтрации газа в направлении перпендикулярном напластованию, что и является критерием эффективной разгрузки

$$\frac{M_p}{\sum m_{\text{отр.}}} \leq \frac{250}{\epsilon_{\text{кр}} \cdot 10^3}, \quad (11)$$

где $\sum m_{\text{отр.}}$ – суммарная вынимаемая мощность отработанных угольных пластов, подработавших (надработавших) углепородный массив, м.

$\epsilon_{\text{кр}}$ – предельные деформации растяжения, при которых происходит разрыв сплошности пород (критические деформации).

Формула (11) учитывает зависимость размеров разгруженной подработанной зоны горного массива от деформационных свойств пород и вынимаемой мощности пластов. Влияние способа управления кровлей и степени метаморфизма можно учесть, введя соответствующие коэффициенты $k_{\text{у.к.}}$ и $k_{\text{л}}$

$$M_p \leq k_{\text{у.к.}} \cdot k_{\text{л}} \cdot \frac{250 \cdot \sum m_{\text{отр.}}}{\epsilon_{\text{кр}} \cdot 10^3}, \quad (12)$$

которые определены экспериментально и приводятся в /3/

$$k_{\text{л}} = 1,88 \cdot \exp(-0,018 \cdot V_{\text{daf}}), \quad (13)$$

где V_{daf} = 2-40 %, выход летучих угля.

$k_{y.k.} = 1,0$ – при полном обрушении пород кровли; $k_{y.k.} = 0,8$ – при удержании на кострах; $k_{y.k.} = 0,4$ – при полной закладке выработанного пространства.

Для типичных условий Донецко-Макеевского геолого-промышленного района (угли марки Ж, КЖ, К, $V_{daf} = 18-35\%$) величины предельных расстояний эффективной подработки при мощности выработанного пласта от 1,0 до 2,0 м изменяются от 40-80 м для песчаников ($\epsilon_{кр} = 8 \cdot 10^{-3}$) до 162-325 м – для угольных пластов ($\epsilon_{кр} = 2 \cdot 10^{-3}$).

Выполненные исследования предельного расстояния M_p подтверждаются экспериментальными работами по извлечению метана из подработанного массива на шахте Хрустальская компании «Донбассантрацит», в которых показано, что газовыделение в скважины, пробуренные с поверхности, измерено и зафиксировано (расход и содержание метана в смеси) на расстоянии 300 м выше разрабатываемого пласта l_2^B . Авторами установлено, что приток метана в скважины происходит по всей их длине от разрабатываемого пласта до верхней границы метановой зоны /5/.

Таким образом, содержание метана в подработанном угольном пласте или пропластке, которое представляется возможным к извлечению после отработки лавы, участка, крыла или всего шахтного поля определяется из выражения

$$q_{yi} = (x_i - x_{oi}) \cdot (1 - k_{дег}) \cdot \left(1 - \frac{M_{yi} \cdot \epsilon_{кр} \cdot 10^3}{250 \cdot k_{y.k.} \cdot k_{л} \cdot \sum m_{отр}}\right) \quad (14)$$

Если природная метаноносность подработанного пласта или пропластка x_{yi} не определена прямым методом, то согласно /3/ она принимается равной метаноносности ближайшего рабочего пласта с поправкой на зольность и влажность. Величина остаточной метаноносности определена экспериментальным путём и в зависимости от выхода летучих веществ может быть $x_o = 1,7-12,1 \text{ м}^3/\text{т с.б.м.}$ /3/.

Необходимо также отметить, что в нашей работе не исследовался и не учитывался временной фактор, то есть период от отработки рабочих угольных пластов до начала извлечения метана из подработанного угленосного массива. Учёт временного фактора, несомненно, внесёт коррективы в полученные зависимости.

Для расчёта q_{pi} получены формулы аналогичной структуры.

Имея показатели об извлекаемой газоносности III и IV зон угленосного массива, разгруженного горными выработками, можно подсчитать плотность извлекаемых ресурсов метана на шахтном поле (участке, крыле, блоке) P_p ($\text{м}^3/\text{м}^2$).

$$P_p = \sum q_{yi} \cdot \gamma_{yi} \cdot m_{yi} + \sum q_{pi} \cdot \gamma_{pi} \cdot m_{pi} \quad (15)$$

где γ_i – плотность углей и пород в исследуемом геологическом объекте, $\text{т}/\text{м}^3$;

m_i – соответственно мощность углей и пород, м.

Плотность ресурсов метана является основным параметром характеристики углепородного массива, разгруженного горными выработками, позволяющим рекомендовать его к разработке и оценить возможные объёмы добычи газа.

Так в районе скважины № Щ1345 в границах шахтного поля шахты им. А.Ф. Засядько расчётная плотность ресурсов метана углепородной толщи, расположенной выше отработанного пласта m_3 составляет $51 \text{ м}^3/\text{м}^2$, что подтверждается фактическими дебитами из скважины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иофис М.А., Шмелёв А.И. Инженерная геомеханика при подземных разработках. – М.: Недра, 1985. – 248 с.
2. Геологические факторы выбросоопасности пород Донбасса. / В.Е. Забигаило, А.З. Широков, И.С. Белый. – Киев: Наукова думка, 1974. – 270 с.
3. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. – Киев: Основа, 1994. – 312 с.
4. Руководство по дегазации угольных шахт. – М.: Недра, 1975. – 189 с.
5. Касимов О.И., Касьянов В.В. Запасы газа в подработанном массиве и возможность их извлечения // Уголь Украины. – 1994. - № 2. – С. 5-7.

УДК 622.243.272

Р.С. Яремійчук,
Державний технічний університет
нафти і газу, м. Івано-Франківськ

РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ТЕХНОЛОГІЇ БУРІННЯ СВЕРДЛОВИН ДЛЯ ВИДОБУВАННЯ МЕТАНУ З ВУГІЛЬНИХ РОДОВИЩ ДОНБАСУ

Розглянуто питання буріння свердловин з продувкою вибою забою азотом і використанням бустерних систем. Показано, що застосування цих способів забезпечить провідку свердловини на глибину 1000 м за 20-30 діб.

RECOMMENDATIONS FOR THE TECHNOLOGY OF DRILLING OF THE WELLS FOR METHANE EXTRACTION FROM COAL BEDS IN DONBASS

The problems of wells drilling with blowing the faces with nitrogen and using the booster systems are discussed. It is shown that such methods can provide wells drilling in the depth up to 1000 m for 20-30 days.