

В.В. Лукинов, А.П. Клец, В.Г. Ильюшенко,
В.В. Бобрышев, Б.В. Бокий, Д.П. Гуня,
В.В. Фичев

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ИЗВЛЕКАЕМЫХ ЗАПАСОВ МЕТАНА ИЗ ПОДРАБОТАННОГО И НАДРАБОТАННОГО УГЛЕПОРОДНОГО МАССИВА

Запропоновано механізм та умови утворення зональної дезінтеграції підробленої вуглепородної товщі. Приведено методику розрахунку запасів метану, які вилучаються із підробленого та надробленого вуглепородного масиву.

THE METHOD OF CALCULATING THE RESERVES OF METHANE EXTRACTED FROM UNDERMINING AND ABOVE-MINING COAL ROCK MASSIVE

The mechanism and conditions of formation of the zonal disintegration of undermining coal rock thickness are proposed. The method of calculating the methane reserve extracted from the coal rock massif is presented for the zone under the influence of mining.

В настоящее время расчеты метановыделения из вмещающих пород и пластов спутников проводятся согласно нормативному документу «Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт» [1], разработанному в 1994 г. За прошедшее время изменились условия ведения горных работ, скорости продвижения очистных забоев, длины лав и размеры выемочных столбов. Согласно «Руководству...» расчет метановыделения из вмещающих пород и пластов-спутников производится по углепородным массивам почвы и кровли разрабатываемого угольного пласта. Известно, что над и под разрабатываемым угольным пластом формируются зоны, характеризующиеся различной нарушенностью сплошности, а, следовательно, и различными фильтрационными свойствами. Отсутствие в «Руководстве...» методики расчета положения этих зон в углепородном массиве, метановыделения из них, параметров их дегазации, снижает эффективность проводимых дегазационных работ в шахтах.

Создание методов расчета параметров метановыделения из разуплотненных зон углепородного массива разгруженного горными выработками сдерживается недостаточной разработанностью теоретических положений по процессам фильтрации газов в этих зонах, малоизученностью закономерностей метановыделения из разуплотненных зон в зависимости от их литологического состава, отсутствием анализа степени влияния метановыделения из разуплотненных зон на метанообильность шахты, участка, лавы. Исходя из вышеизложенного, обоснование параметров извлечения метана из разуплотненных зон углепородного массива, разгруженного горными выработками, учитывающее геомеханические, фильтрационные и литологические особенности этих зон, позволяющее определять местоположение источников метановыделения, оценивать характер и степень их влияния на поступление метана в горные выработки, разработать рекомендации по направленной дегазации зон, применение которых обеспечит эффективность и безопасность ведения горных работ, является актуальной задачей.

Задача настоящей методики состоит в расчете плотности извлекаемых запасов метана в подработанном и наработанном углепородном массиве (м^3 метана на м^2 площади) и оценке ожидаемых объёмов извлечения метана поверхностными дегазационными скважинами.

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. По характеру и степени деформирования горных пород в подработанном и наработанном углепородном массиве можно выделить 4 основные зоны [2]. 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. 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. Породы кровли в зоне III, после формирования зон I и II, вначале прогибаются, и лишь затем в них 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 как подработанной, так и наработанной 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.

Извлечение метана из III и IV зон осуществляется скважинами, пробуренными с поверхности. В зависимости от параметров III и IV зоны, их обводнённости, свойств горного массива, гипсометрии пластов, рельефа и застроенности поверхности, выбирается количество скважин и их конструкция.

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.

Существующие в настоящее время методики определения содержания метана и прогноза метановыделения из подработанных сближенных пластов, пород, содержащих свободный газ в трещиновато-пористом пространстве и сорбированный метан в РОВ вмещающих пород 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 разуплотнения 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 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_{ni} , м³/т). Метан, связанный в РОВ в породах III и IV зон нами 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 слагаться из метана, содержащегося в пластах и газоносных породах.

Ожидаемое содержание метана, которое можно извлечь из подработанного угольного пласта или пропластка q_{yi} можно определить по формуле

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

где x_i и x_{oi} – соответственно природная и остаточная газоносность исследуемого пласта, м³/т; $k_{дез}$ – коэффициент эффективности дегазации источника газовой выделенной, определяется в процессе ранее проведенных дегазационных мероприятий при работе шахты по добыче угля. По данным Руководства по дегазации угольных шахт [3] значение $k_{дез}$ при дегазации скважинами, пробуренными из выработок на сближенный пласт для подработанной толщ равна 0,4...0,8, надработанной толщ – 0,3...0,5. При отсутствии мероприятий по дегазации $k_{дез} = 0$.

$k_{эф.р.}$ – коэффициент эффективности разгрузки подработанной толщ по аналогии с нормативным Руководством по проектированию вентиляции угольных шахт [1] определяется по формуле

$$k_{эф.р.} = \left(1 - \frac{M_{yi}}{M_p}\right), \quad (2)$$

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 пласта или пропластка, при котором газовыделение из последнего практически равно нулю, м.

Величина $k_{эф.р.}$ отражает интенсивность трещинообразования, газопроницаемость массива. При увеличении коэффициента разгрузки улучшаются фильтрационные свойства массива, растёт скорость десорбции связанного метана, повышается газоотдача. Очевидно, что $k_{эф.р.}$ 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 [2] 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

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

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

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

Формула (3) 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 $k_{у.к.}$ и k_l , которые определены экспериментально [1]

$$M_p \leq k_{у.к.} \cdot k_l \cdot \frac{250 \cdot \sum m_{отр.}}{\varepsilon_{кр} \cdot 10^3}, \quad (4)$$

где $k_l = 0,91 \dots 1,8$, зависит от выхода летучих веществ в угле (V_{daf}) и определяется по графику (рис. 1).

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

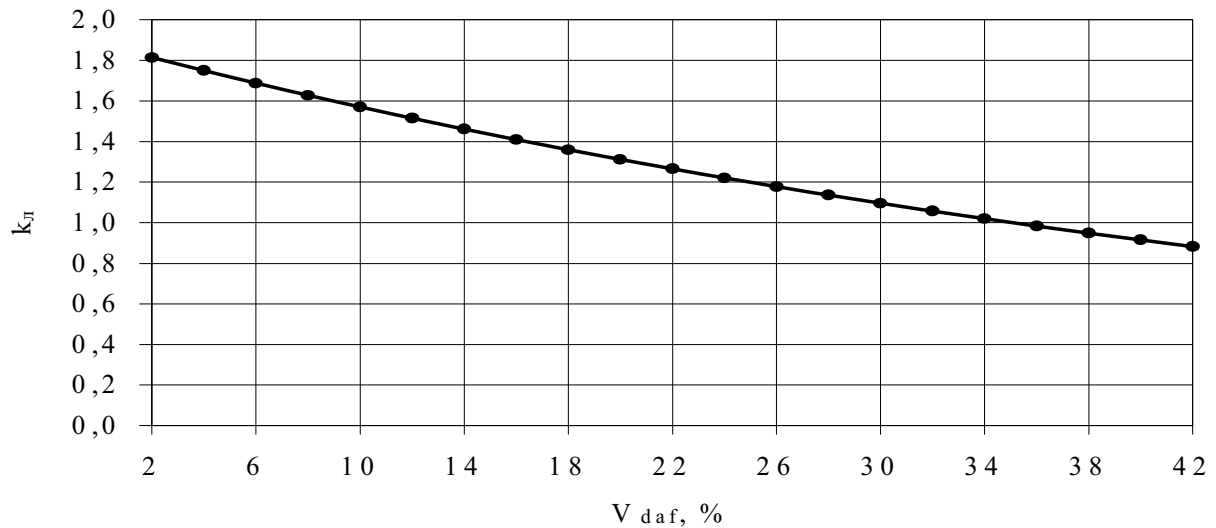


Рис. 1 – Влияние степени метаморфизма на величину свода разгрузки
(Определение коэффициента k_l)

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 70-140 м для песчаников ($\epsilon_{кр} = 3...4 \cdot 10^{-3}$) до 160...325 м – для угольных пластов ($\epsilon_{кр} = 2 \cdot 10^{-3}$).

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

$$q_{yi} = (x_i - x_{oi}) \cdot (1 - k_{dez}) \cdot \left(1 - \frac{M_{yi} \cdot \epsilon_{кр} \cdot 10^3}{250 \cdot k_{y.k.} \cdot k_l \cdot \sum m_{отр}}\right) \quad (5)$$

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 углей определена экспериментальным путём и в зависимости от выхода летучих веществ может быть $x_o = 1,7...12,1$ м³/т с.б.м., определяется по графику (рис. 2).

Метаноносность песчаников, известняков и алевролитов Донбасса составляет 2,0-3,0 м³/т, однако в толще углепородного массива песчаников сосредоточено иногда до 80 % общей мощности толщи [4]. Природная пористость песчаников Донбасса (особенно открытая и эффективная) хотя и бывает в некоторых купольных структурах до 15 %, но в большинстве своём низкая (коэффициент открытой пористости песчаников различного генетического типа и степени катагенеза находится в пределах от 1,5 до 8...9 [5]), а газопроницаемость нетронутых горными работами песчаников – 0,01...0,6 мД, которые не попадают даже в класс с низкой газопроницаемостью ($k_{np} < 10$ мД).

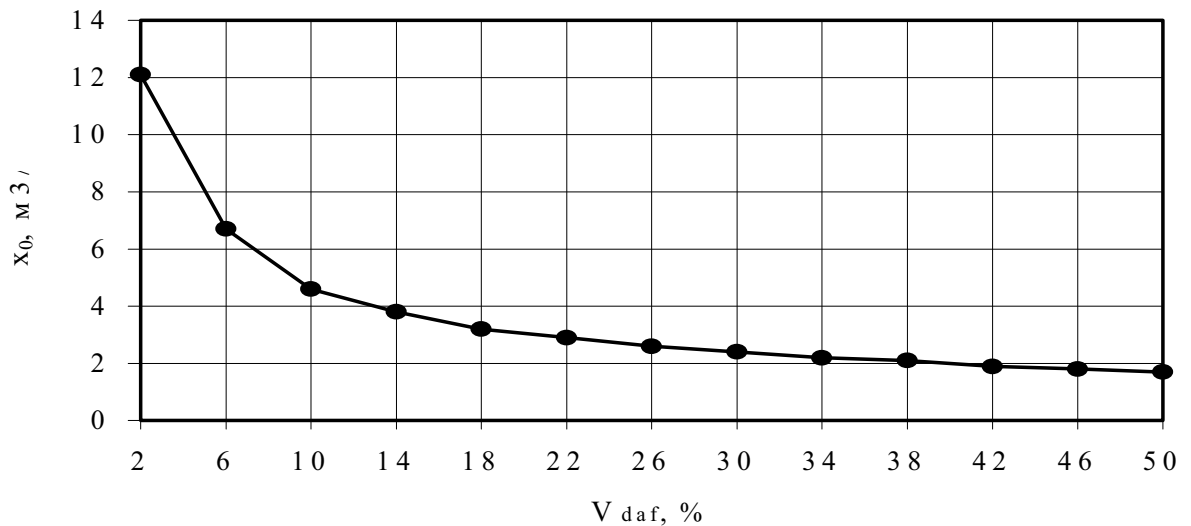


Рис.2 – Зависимость остаточной метаноносности углей от степени метаморфизма (Определение x_0)

Деформационные характеристики песчаников довольно высоки $\epsilon_{кр.р} = 3...4 \cdot 10^{-3}$, в то же время нагружение образцов от 0 до 40 МПа приводит к уменьшению его открытой пористости с 8...9 до 7,5...8,5 %, то есть всего на 5...6 % [6].

Расчёт содержания метана в подработанных породах $\sum q_n$, который может быть извлечен после отработки угольного пласта, выполняется для каждой газоносной породы отдельно по данным о её природной газоносности, о процессе разгрузки от горного давления, о деформационных характеристиках данной породы. Причём исследуются только породы расположенные выше зоны интенсивного дробления, которая уже дегазирована при добыче угля.

По аналогии с формулой расчёта запасов метана в угольных пластах (5) получаем выражение для оценки содержания его извлекаемых запасов в порово-трещинном пространстве вмещающих пород

$$q_{ni} = x_{ni} \cdot \left(1 - \frac{M_{ni} \cdot \epsilon_{кр.ни} \cdot 10^3}{250 \cdot k_{у.к} \cdot k_d \cdot \sum m_{отр}} \right), \quad (6)$$

где x_{ni} – природная газоносность данных пород, м³/м³;

M_{ni} – расстояние по нормали между данной породой и отработанным угольным пластом, м.

$\epsilon_{кр.ни}$ – предельные деформации растяжения данных пород.

Дренаживание метана из надработанного углепородного массива связано с повышением его трещиноватости и газопроницаемости за счёт деформаций упругого восстановления, направленных в сторону обнажения. Для оценки степени разгрузки и дегазации надработанного углепородного массива в направлении от выработанного пространства в сторону почвы, выделены следующие зоны по интенсивности трещинообразования [2].

Зона $I_H - \frac{M}{m} \leq 7$ – газоносный пласт, попавший в эту зону, полностью дегазируется;

зона $II_H - 7 < \frac{M}{m} \leq 25$ – трещинообразование здесь аналогично зоне II при подработке;

зона $III_H - 25 < \frac{M}{m} \leq 37$ и зона $IV_H - \frac{M}{m} > 37$ – соответствуют зонам III и IV при подработке.

В то же время опыт дегазации пород почвы в Донбассе показывает, что для пологих и наклонных пластов расстояние по нормали между нижней границей выработанного пространства и сближенным пластом, метановыделение из которого практически равно нулю, при надработке в 3...4 раза меньше, чем при подработке, и согласно «Руководству...» [1] принимается $M_p = 60$ м.

Отсюда коэффициент эффективности разгрузки надработанного углепородного массива по формуле (2) примет выражение

$$k_{эф.р}^H = 1 - \frac{M_i}{60} \quad (7)$$

Тогда, извлекаемая метаноносность в надработанном угольном или породном пласте, расположенном во II–IV зонах, на расстоянии M от почвы разрабатываемого пласта, можно выразить аналогично (5) и (6) формулами:

$$q_{yi}^H = (x_i - x_{oi}) \cdot (1 - k_{дез}) \cdot \left(1 - \frac{M_{yi}}{60}\right) \quad (8)$$

$$q_{ni}^H = x_{ni} \cdot \left(1 - \frac{M_{ni}}{60}\right) \quad (9)$$

Имея показатели об извлекаемой газоносности подработанного и надработанного углепородного массива, можно подсчитать плотность извлекаемых запасов метана на шахтном поле (участке, крыле, блоке) P_p ($\text{м}^3/\text{м}^2$).

$$P_p = \sum q_{yi} \cdot \gamma_{yi} \cdot m_{yi} + \sum q_{ni} \cdot m_{ni} + \sum q_{yi}^H \cdot \gamma_{yi} \cdot m_{yi} + \sum q_{ni}^H \cdot m_{ni} \quad (10)$$

где γ_i – плотность углей в исследуемом пласте или пропластке, $\text{т}/\text{м}^3$;

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.

Разработанная методика использована для расчета плотности извлекаемых запасов метана в подработанном и надработанном углепородном массиве и оценки ожидаемых объёмов извлечения метана поверхностными дегазационными скважинами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. – Киев: Основа, 1994. – 312с.
2. Иофис М.А., Шмелёв А.И. Инженерная геомеханика при подземных разработках. – М.: Недра, 1985. – 248 с.
3. Руководство по дегазации угольных шахт. – М.: Недра, 1975. – 189 с.
4. Газообильность каменноугольных шахт СССР. Комплексное освоение газоносных угольных месторождений / А.Т. Айруни, Р.А. Галазов, И.В. Сергеев и др. – М.: Наука, 1990. – 216 с.
5. Забигайло В.Е., Николин В.И. Влияние катагенеза горных пород и метаморфизма углей на их выбросоопасность. – К.: Наукова думка, 1990. – 168 с.
6. Абрамов Ф.А., Шевелёв Г.А. Свойства выбросоопасных песчаников как породы-коллектора. – К.: Наукова думка, 1972. – 98 с.

УДК 550.8.05:622.012.2

В.А. Баранов., В.В. Лукинов, В.В. Бобрышев,
Д.П. Гуня

ГИПОТЕЗА ФОРМИРОВАНИЯ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПОЛЯ ШАХТЫ ИМ. А.Ф. ЗАСЯДЬКО

Приведено результати дослідження геології поля шахти О.Ф. Засядька. Визначено послідовність формування тектонічних порушень на шахтному полі. Встановлені потенційні зони порушень. Дано характеристику порід на цій шахті.

HYPOTHESIS OF FORMATION OF GEOLOGICAL CONDITIONS OF A FIELD ZASJADKO MINE.

The findings of investigation of geology of a field O.F. Zaszjadko mine is adduced. The sequence of formation of tectonic disturbances on a mine field is determined. The potential troublesome zones are established. The characteristic of rocks on this mine are adduced.

Шахта им. А.Ф. Засядько является в настоящее время одним из передовых угольных предприятий Украины, давая на гора до 4-х млн. тонн угля в год. Сложные горно-геологические условия и высокая метанообильность шахты существенно сдерживают темпы очистных работ, влияют на безопасность работ, повышают себестоимость добываемого угля.

Прогноз метанообильности шахты на разных горизонтах, предварительная дегазация – являются проблемой актуальной. Решение этой проблемы тесно связано со знанием и пониманием строения шахтного поля, формированием коллекторских свойств, газоэкранирующих покрышек, локальных структур, зон трещиноватости и многих других характеристик, без знания которых эксплуатировать данное месторождение, принимать оперативные решения – достаточно сложно. Поэтому ниже будет предложена наша гипотеза формирования шахтного поля и объяснение с этих позиций основных горно-геологических характеристик складчатости, тектонических нарушений, зон трещиноватости и, в конечном итоге, формирование и перераспределение метанообильности с этих позиций на площади шахтного поля.

Поле шахты им. А.Ф. Засядько расположено в Донецко-Макеевском геолого-промышленном районе, занимающем промежуточное положение между прибортовыми районами с пологим ($2^0 \div 5^0$) залеганием (Красно-армейский, Южно-Донбасский), слабо развитой тектоникой растягивающего характера –