

Наиболее ярким примером эффективного применения магнитодинамических методов может рассматриваться исследование ОАО „УкрНТЭК“ тела дамбы и основания шламонакопителя емкостью 300 тыс м<sup>3</sup> ОАО „Никопольский завод ферросплавов“. В ходе геофизических исследований выявились причины техногенных утечек – наличие в теле дамбы и основании аномальных зон разуплотнения и напряженно-деформированного состояния грунта, являющиеся путями фильтрации шламовых вод.

Кроме магнитодинамической разведки, геофизический комплекс исследований включал и электрометрическую съемку. При этом отмечалась полная синхронность (идентичность) полученных результатов, что опять стало подтверждением надежности и высокоинформативности магнитодинамического метода. Обнаруженные аномальные зоны были успешно затампонированы (по комплексному методу) и угроза загрязнения района шламовыми водами была предотвращена.

**Вывод.** Магнитодинамические методы наиболее перспективны в системе геоконтроля при осуществлении комплексной технологии тампонажа выработок, пройденных в зонах обводненных тектонически нарушенных горных пород, увеличивая, в целом, эффективность этой технологии.

#### Список литературы

1. Сбитнев В.П., Кипко А.Э. Методические основы проектирования систем геоконтроля // Матер. междунар. научно-практич. конф. „Проблемы горного дела и экологии горного производства“. – Донецк, „Норд-Пресс“. – 2009. – С. 150–153.
2. Ямщиков В. С. Контроль процессов горного производства. – М.: Недра, 1989. – 445 с.
3. Сквжинная и рудная геофизика. В 2-х кн. / Под ред. В.В. Бродового. – кн. 1. – М.: Недра, 1989. – 320 с.
4. Соболев Е.Г., Должиков П.Н., Кипко А.Э. Магнитодинамическая интроскопия породного массива –

новое направление в горной геофизике // Проблемы подземного строительства и направления развития тампонажа и закрепления горных пород: Матер. научно-практич. конф. / Луганск: Изд-во Всеукр. нац. ун-та им. В. Даля, 2006. – С. 128–132.

5. Соболев Е.Г. Отраслевые методические рекомендации по применению магнитодинамических методов обнаружения структурных неоднородностей на месторождениях огнеупорного и нерудного металлургического сырья / Под ред. В.С. Ямщикова – МЧМ СССР, ГФ ВИО, ГР 01.08.0015679, Донецк, 1992. – 80 с.

Розглянуто метод магнітодинамічної інтроскопії породного масиву, як найбільш преспективний метод геоконтролю при реалізації комплексної технології тампонажу виробок, пройдених в обводнених гірських породах. Сформульовано основні вимоги до вхідних даних для проектування системи геоконтролю. Описано комплекс апаратних засобів для реалізації методу і випадки його використання.

**Ключові слова:** геоконтроль, тампонаж, системний підхід, геомагнітне поле, магнітодинамічна розвідка, геофізичні методи

A magnetic and dynamical method of introscopy of a rock mass is considered, as the most perspective geokontrol method during realization of the technology of the complex tamponage of workings, passed in watered rocks. The main requirements to the input data for the system of geokontrol design are formulated. The complex of the vehicle facilities for realization of this method and cases of its use are described.

**Keywords:** geokontrol, tamponage, systems approach, geomagnetical field, magnetical-dynamical exploration, geophysical methods

Рекомендовано до публікації д.т.н., С.К. Мещаніновим 10.07.10

УДК 622.831

© Минеев С.П., Витушко О.В., Чебенко В.Н., 2010

С.П. Минеев, О.В. Витушко, В.Н. Чебенко

## ОБ ОЦЕНКЕ ПРОГНОЗНОЙ СТЕПЕНИ ВЫБРОСООПАСНОСТИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ С УВЕЛИЧЕНИЕМ ГЛУБИНЫ ВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ

S.P. Mineyev, O.V. Vitushko, V.N. Chebenko

## ABOUT ESTIMATION OF PROGNOSIS DEGREE OF OUTBURST HAZARD OF COAL SEAMS AS THE DEPTH OF MINE WORKS INCREASES

Проведен анализ глубины реализации первого газодинамического явления на различных угольных пластах и рассмотрены методики оценки минимальной глубины выбросоопасности, для которой необходимо осуществлять прогноз выбросоопасности при ведении горных работ. Показано, что для оценки выбросоопасности необходимо установить критериальные соотношения, характеризующие изменения диффузионного и сорбционного ресурсов метана в угле. При корректном выборе критериев на основе информационно – аналитической модели, предложенной ИГТМ НАН Украины, проблема оценки выбросоопасности угольных пластов с глубиной может быть решена.

**Ключевые слова:** выбросоопасность угольного пласта, прогноз выбросоопасности, глубина ведения горных работ, давление метана, адсорбция, Донецкий бассейн

К настоящему времени выполнено большое количество исследований по оценке глубины ведения горных работ, с которой начинают происходить выбросы угля и газа. Особое внимание этому вопросу уделяется и потому, что практика ведения горных работ в шахтах показывает – первые внезапные выбросы всегда наиболее опасны, так как обычно происходят неожиданно и, как правило, сопровождаются серьезным травматизмом шахтеров. Своевременное и достоверное прогнозирование изменения выбросоопасности пластов имеет весьма существенное значение, а задача разработки методики оценки границы выбросоопасности, т.е. глубины, начиная с которой возможна реализация газодинамических явлений, является актуальной для большинства угольных шахт Украины. Поэтому в данной статье авторы рассмотрели методологию оценки степени выбросоопасности угольного пласта при снижении глубины ведения горных работ. В методическом плане поставленная задача не может быть решена без обобщения накопленного опыта по оценке границы выбросоопасности угольных шахт Украины и других стран за последние годы. Поэтому рассмотрим основные методики оценки верхней границы газодинамической опасности угольных пластов.

Необходимо отметить, что до настоящего времени корректные рабочие методики оценки верхней границы выбросоопасности по глубине для шахт Донбасса [1–4] не разработаны. Отнесение к выбросоопасному или угрожаемому шахтопласту, в основном, производилось по фактическому проявлению выбросоопасности, а также на основании опыта ведения горных работ на соседних шахтах или по результатам экспериментальных работ.

В последнее время многие исследователи считают [5–7], что при достижении определенных глубин разработки выбросоопасность угольных пластов снижается. Это мнение, судя по имеющимся публикациям, доказываетея весьма авторитетными исследователями [5, 6]. Причем представители этих институтов по-разному оценивают величину „переходной“ глубины, т.е. глубины, с которой начинается снижение выбросоопасности. При этом, одни считают, что выбросоопасность будет уменьшаться с глубины 500–700 м и почти полностью прекратится на глубине 1100–1300 м. По мнению других – снижение ее можно ожидать на глубине от 900 до 1300 м, полное прекращение – в пределах 1200–1800 м, в зависимости от степени метаморфизма углей. В подтверждение правильности своих выкладок и теоретических расчетов в своем большинстве исследователи ссылаются на данные статистики внезапных выбросов угля и газа. Так, в работе [6] утверждается, что средняя глубина реализации первых выбросов закономерно растет, а затем практически прекращается. Сказанное объясняется как изменением совместного влияния факторов горного и газового давления с глубиной, так и стабилизацией и некоторым уменьшением природной метаноносности шахтопластов на глубинах более 600–800 м. Авторы анализируемой работы [6]

также утверждают, что и для угрожаемых шахтопластов характерны указанные процессы, которые не позволяют каждому такому шахтопласту стать выбросоопасным и снижают количество первых выбросов на больших глубинах при отработке угольных пластов. В результате проведенного анализа авторы работы [6] делают вывод о том, что выбросоопасность на глубинах более 700–800 м перераспределяется между углями разной степени метаморфизма, причем, наиболее выбросоопасными становятся угольные пласты с выходом летучих веществ  $V^{def}$  более 20%. При этом прекращение выбросов, имеющих место при выемке угля, по их мнению, происходит на меньших глубинах, чем выше степень метаморфизма.

А.В. Нечаевым (ИГД им. А.А. Скочинского) в работе [8] доказываетея, что потенциальная выбросоопасность коррелирует не только с глубиной, а снижение числа внезапных выбросов угля и газа в отдельные периоды, с увеличением глубины, связано не с уменьшением природной выбросоопасности пластов, а с определенными изменениями в технологии разработки пластов и использованием мероприятий по предотвращению этих явлений. На основании анализа статистических данных о газодинамических явлениях в подготовительных выработках, в первую очередь выбросов угля и газа, вызванных взрывными работами, А.В. Нечаев делает вывод о том, что с увеличением глубины горных работ до 1250 м природная выбросоопасность угольных пластов продолжает возрастать и ожидается, что эта тенденция сохранится и на более глубоких горизонтах. В настоящее время глубины отработки выбросоопасных пластов превысили отметку 1500 м, а газодинамические явления, несмотря на предпринимаемые меры с использованием различных подходов, становятся более угрожающими и продолжают будоражить общественное сознание. Кроме того, неоднозначное использование защитной отработки выбросоопасных пластов в последнее время в значительной степени изменяет статистику реализации газодинамических явлений, анализируемую в работах [5–7].

С.Н. Осипов и В.И. Кузюра [9], при рассмотрении выбросоопасности угольных пластов, считают необходимым учитывать, например, газоносность угля и величину поднятия земной поверхности, а глубина разработки, по их мнению, является уже вторичным фактором, определяющим прочностные и напряженно-деформированные параметры массива, в частности угольного пласта и вмещающих пласт пород. Причем, на выбросоопасность определяющее влияние оказывает не сама прочность угля, а соотношение прочностей угольного пласта и осредненной прочности вмещающих пород. То есть, на выбросоопасность в большей степени влияют физико-механические свойства наиболее прочных и крепких пород и угольных пластов, а с ростом прочности пород и снижением прочности пласта выбросоопасность возрастает. При этом авторы [9] считают, что при развязывании слабых (менее 30 т) выбросов угля и газа основная роль отводится давлению газа и крепости угля, а при более мощных выбро-

сах – напряженному состоянию углепородного массива, и особенно вмещающих пород, когда в результате динамического воздействия пород на пласт, в последнем могут развиваться вибрационно-волновые процессы [10]. В условиях развития крупных выбросов с реализацией вибрационно-волновых процессов в массиве, С.Н. Осипов считает, что прочность угля играет меньшую роль, чем при слабых выбросах, а наиболее важное значение в рассматриваемых условиях имеет соотношение прочностных свойств породных слоев и угольного пласта.

Авторы работы [11] считают, что при отработке пологих угольных пластов в Донбассе на глубинах, превышающих 800–900 м, резко возрастает количество выбросов на отработываемом шахтопласте, а на глубинах порядка 1500 м следует ожидать всплеск вероятности реализации выбросов угля и газа, особенно для пластов марки Ж. Поэтому, по мнению этих авторов, достаточно сложно обеспечить выбрособезопасность в очистных забоях на указанных глубинах, особенно в начале на угловых, а затем и на линейных участках очистного забоя. Вполне очевидна необходимость серьезного обобщения накопленных статистических данных о внезапных выбросах угля и газа, что позволило бы уточнить рекомендации для условий Донбасса [4] и обосновать показатели на которых должен основываться прогноз степени выбросоопасности.

В настоящее время имеет место точка зрения, развивающая представленные ранее гипотезы [12]. Ее авторы считают, что может существовать некоторый промежуточный механизм рассматриваемого нами процесса. Их позиция основывается на следующем предположении, что при достижении глубины 1600 м, согласно выполненным ими расчетам для определенных горно-геологических условий, величина зоны разгрузки в подготовительных забоях будет составлять 3,3 м. Такая зона разгрузки за вычетом минимально необходимого неснижаемого опережения ее на 1,3 м [3], обеспечит безопасное по выбросам угля и газа проведение выработок сотрясательным взрыванием при длине взрывных шпуров до 2 м, а тем более проходческими комбайнами или отбойными молотками, когда продвижение забоя за цикл не превышает 0,8–0,9 м. На глубине 1300 м зона разгрузки для подобных условий будет 2,3 м, т.е., при том же неснижаемом опережении ее на 1,3 м, безопасная глубина выемки угля в забое равна 1 м. Поэтому опасность выбросов при сотрясательном взрывании на этой глубине и длине взрывных шпуров 2 м не исключается, что подтверждается практикой. Вместе с этим А.А. Рубинский и Э.И. Тимофеев отмечают [12], что, как правило, ГДЯ, произошедшие, например, на шахтах им. А.Ф. Засядько и А.А. Скочинского на рассматриваемых глубинах порядка 1300 и 1250 м, происходили, в основном, в зонах геологических нарушений, в которых естественная разгрузка и дегазация призабойной части пласта является недостаточной для устранения опасности реализации выброса. То есть, в целом авторы работы [12] считают, что, несмотря на серьезное аргументирование гипотезы

общей закономерности снижения склонности угольных пластов к проявлению выбросоопасности с увеличением глубины ведения горных работ, приведенной в работах [5–7], все же наличие различных осложняющих факторов, в частности геологических нарушений, в которых остаточные или действующие напряжения [12] тектонического происхождения превышают геостатические, обусловленные характером давления вышележащей толщи пород, вносят определенные и весьма существенные коррективы в гипотезу снижения выбросоопасности с глубиной.

Таким образом, отсутствует однозначное суждение среди дискутирующих ученых об изменении степени выбросоопасности с глубиной. Поэтому исследование необходимо продолжить в плане уточнения степени выбросоопасности угольных пластов с учетом общепринятых параметров. Далее рассмотрим используемые методы оценки изменения степени выбросоопасности угольных пластов с понижением глубины их отработки.

В последнее время на шахтах перед вскрытием выбросоопасных и угрожаемых угольных пластов и пропластков мощностью более 0,3 м квершлагами и другими выработками выполняется прогноз выбросоопасности в месте вскрытия. В шахтных условиях при подходе выработки к пласту на расстояние по нормали не менее 3 м для оценки выбросоопасности пласта в месте вскрытия бурятся две контрольные скважины. Из этих скважин отбирают пробы угля с разделением их по угольным пачкам. Перед вскрытием горизонтальными выработками пологих и наклонных пластов, а также перед вскрытием крутых и крутонаклонных пластов заездами и стволами, в случае прогноза „неопасно“, полученного при наличии 3-х метровой породной толщи, прогноз повторяют, когда забой выработки приблизится к пласту на величину породной толщи не более 1 м. Прогноз выбросоопасности пластов в месте вскрытия осуществляют по скорости газовыделения ( $g_n$ ), йодному показателю ( $\Delta J$ ) и коэффициенту крепости угля ( $f$ ). Измерение скорости газовыделения производится в двух скважинах не позднее, чем через 2 мин после перебурирования пласта. Если при бурении отмечены предупредительные признаки газодинамического явления, то бурение прекращают и выдают прогноз „опасно“. В целом, по результатам исследований ситуацию перед вскрытием оценивают как невыбросоопасную при одновременном выполнении трех условий

$$g_n \leq 2 \text{ л/мин}; \Delta J \leq 3,5 \text{ мг/г}; f \geq 0,6 \text{ у.е.} \quad (1)$$

Если хотя бы один из этих трех показателей не соответствует указанному условию, вскрытие пласта осуществляют при прогнозе „опасно“. Кроме этого для определения глубины, с которой необходимо выполнение прогноза выбросоопасности, были установлены следующие нормативные требования [3]. Глубина, с которой необходимо осуществлять прогноз выбросоопасности шахтопластов в Донецком бассейне, приведена в таблице.

Выход летучих веществ, $V^{daf}$ , %	Комплексный показатель степени метаморфизма угля, $M$ , у.е.	Природная газоносность пласта, м <sup>3</sup> на 1 т сухой беззольной массы	Глубина, с которой осуществляется прогноз, м
Более 29	26,3 - 27,7	8 и более	400
	24,4 - 26,2	9 и более	380
9 – 29	23,7 - 27,6	9 и более	380
	17,6 - 23,6	11 и более	320
	13,5 - 17,5	12 и более	270
	9,0 - 13,4	13 и более	230
Менее 9 (но $\lg p \geq 3,3$ )*	–	15 и более	150

\*  $p$  – удельное электросопротивление антрацитов

Разработаны рекомендации по практическому применению комплексного показателя степени метаморфизма угля  $M$ , приведенного в таблице [3]. Рекомендуется производить ежегодное отнесение шахтопластов к категории угрожаемых и выбросоопасных отдельно для каждого блока, панели или крыла шахтопласта в пределах той его части, где планируется ведение горных работ в течение рассматриваемого года. Для определения категорий выбросоопасности используют данные о средней газоносности пласта  $\bar{X}$  и средней величине показателя  $M$  ( $\bar{M}$ ) для каждого рассматриваемого участка. Порядок определения комплексного показателя метаморфизма  $\bar{M}$  следующий [3]

$$\text{при } V^{daf} = 9 - 29\% \text{ по формуле } M = V^{daf} - 0,16y; \quad (2)$$

$$\text{при } V^{daf} > 29\%, M = (4 V^{daf} - 91)/(y + 2,9) + 24, \quad (3)$$

где  $y$  – толщина пластического слоя угля, мм;  $V^{daf}$  – выход летучих веществ, %.

Комплексный показатель  $M$  определяется в следующей последовательности: а) по каждой отдельной пробе рассчитываются единичные значения показателя  $M$ ; б) по единичным значениям  $M$  для каждого исследуемого участка шахтопласта определяется величина  $M$ . При этом следует иметь в виду, что рассчитывать  $M$  по усредненным значениям  $V^{daf}$  и  $y$  нормативными документами не допускается.

Исследуемый конкретный участок шахтопласта относят к не опасным независимо от глубины разработки и природной газоносности, если комплексный показатель степени метаморфизма угля  $M > 27,7$  или логарифм удельного электросопротивления антрацитов  $\lg p < 3,2$ , а также, если для углей конкретной степени метаморфизма природная газоносность или глубина разработки меньше значений, указанных в таблице. Количество пластовых проб, взятых для определения  $M$ , на каждом рассматриваемом участке принимается из расчета сетки опробования 250×250 м, но должно быть не менее 30. Основой для этого служат данные пересечения пластов скважинами в пределах рассматриваемого участка, полученные на стадии разведки или доразведки. Недостающие

пластовые пробы отбираются в очистных и подготовительных выработках рассматриваемых участков (при наличии вскрытых геологических нарушений пробы отбираются и в них) таким образом, чтобы плотность опробования, с учетом пластопересечений скважинами, была одинакова.

Однако опыт разработки выбросоопасных угольных шахтопластов показывает [13], что имеют место выбросы угля и газа при значениях исследуемых показателей, выходящих за граничные пределы, указанные в таблице. Так в работе [14] рассмотрено более десятка внезапных выбросов угля и газа на шахтопластах с показателями выбросоопасности, выходящими за граничные показатели  $V^{daf} > 35\%$ , а в некоторых случаях и  $V^{daf} > 39\%$ . Кроме того, газодинамические явления имели место и при  $V^{daf} < 9\%$  и один выброс произошел при  $V^{daf} = 3,6\%$ . Анализ этих данных приводит к выводу о неполной корректности рассматриваемого метода прогноза и необходимости дальнейших исследований для уточнения граничных показателей выбросоопасности с изменением глубины.

Подводя итоги приведенного анализа по изменению и оценке степени выбросоопасности с глубиной, по нашему мнению, необходимо четко сказать, что не совсем правы обе группы дискутирующих исследователей. Выбросоопасность угольных пластов с изменением глубины в одних случаях несколько уменьшается, а в других - существенно возрастает, то есть имеет место ее циклическое изменение. Кроме того, надежно оценить степень выбросоопасности без достаточно большого запаса „надежности“, который приносит большие и необоснованные экономические потери для угольных предприятий, в настоящее время однозначно невозможно. Существующие методы оценки степени выбросоопасности угольных пластов с переходом на большие глубины не позволяют предложить для практики корректные методики.

Причем проявление выбросоопасности, как установлено в работах [15, 16], в значительной степени зависит не только от степени метаморфизма угля, но и нарушенности угля и его газодинамического состояния, в частности, от характеристик связанного с углем газа. То есть необходимо знание величины давления адсорбированного метана в угле и параметров

его диффузии, при этом в такой модели необходим учет силового поля межмолекулярного взаимодействия в системе „адсорбированный метан- угольный пласт“, степень насыщения угля газом, температуры угля и других термодинамических характеристик, которые позволяют оценить не только количественные изменения расчетных параметров, но и обнаружить качественно новые закономерности. Так, например, в результате теоретических расчетов установлено, в отличие от общепринятого мнения [15], для газонасыщенного микропористого пространства угля существование не одного, а как минимум двух порогов повышения или, соответственно, понижения адсорбционного давления метана в угольном пласте. Причем, в большей степени это характерно для пор меньшего размера. Кроме того, как показывают выполненные в ИГТМ НАН Украины расчеты [15], с увеличением глубины разработки угольных пластов резко повышается роль степени насыщенности угольного массива и давления адсорбированного в угле метана на устойчивость газодинамического состояния пласта. Поэтому такой характер изменения давления адсорбированного метана в угольном массиве следует учитывать при прогнозной оценке поведения угольного массива вследствие нарушения его равновесного состояния при ведении горных работ. Следовательно, необходима уточненная модель, позволяющая оценивать критериально изменения диффузионного и сорбционного ресурса метана в угле и, соответственно, получать необходимые закономерности.

Многие исследователи считают, что с увеличением глубины разработки повышаются диффузионные и сорбционные показатели и ресурсоэнергоёмкость метана. Однако, необходимо иметь в виду тот факт, что это увеличение происходит до определенного момента и затем, что наиболее вероятно, уменьшаться [15, 16]. Этот подход, возможно, будет основой для корректной оценки выбросоопасности. Поскольку этот ресурс метана обладает наибольшей опасностью в тот момент, когда многие противовыбросные мероприятия, выполненные в достаточной степени корректно, не действуют - например, многие способы дегазации, разгрузочные скважины и прочие не снижают выбросоопасность, т.е. не действуют или действуют не эффективно. Поэтому необходимо оценивать параметры и условия при которых будет развиваться и реализовываться самопроизвольное выделение метана из угольного пласта, которое сможет активировать реализацию цепного процесса спонтанного выделения метана из угольного массива, приводящего, в конечном счете, к газодинамическому явлению.

Для оценки спонтанного выделения связанного газа из угля в работах [15, 16] предлагается следующая методология. Одним из основных комплексных параметров, характеризующих состояние метана в пористом пространстве угольного пласта, является давление адсорбированного метана ( $P_a$ ). Термодинамическое равновесие системы „уголь- метан“ возможно лишь при изменении ее параметров. Как известно [15], изотермический равновесный процесс может протекать

самопроизвольно, то есть без приложения внешнего воздействия, только в направлении убывания свободной энергии до достижения определенного минимума, которому и соответствует равновесное состояние исследуемой нами системы. В этом и состоит физический смысл энергии Гиббса. При этом, следует иметь в виду, что основными характеристиками, определяющими энергию Гиббса и ответственными за направление протекания рассматриваемого процесса, являются энтальпийные ( $\Delta H$ ) или энтропийные ( $\Delta S \cdot T$ ) параметры. Результаты расчетов энергии Гиббса, при изменении давления адсорбированного метана в угольном пласте, приведены на рисунке [16].

Рассматривая процессы, происходящие в угольном массиве, необходимо акцентировать внимание на следующее. Если  $\Delta H < 0$  и  $\Delta S > 0$ , то всегда  $\Delta G < 0$  и самопроизвольное протекание термодинамического процесса возможно при любой температуре. Если же  $\Delta H > 0$  и  $\Delta S < 0$ , то  $\Delta G > 0$ . В этом случае самопроизвольное протекание процесса невозможно ни при каких условиях. При  $\Delta G = 0$  система находится в термодинамическом равновесии, при котором самопроизвольное протекание процесса возможно лишь при изменении параметров системы. В остальных случаях  $-\Delta H < 0$ ,  $\Delta S < 0$  и  $\Delta H > 0$ ,  $\Delta S > 0$ , знак  $\Delta G$  зависит от соотношения  $\Delta H$  и  $T\Delta S$ .

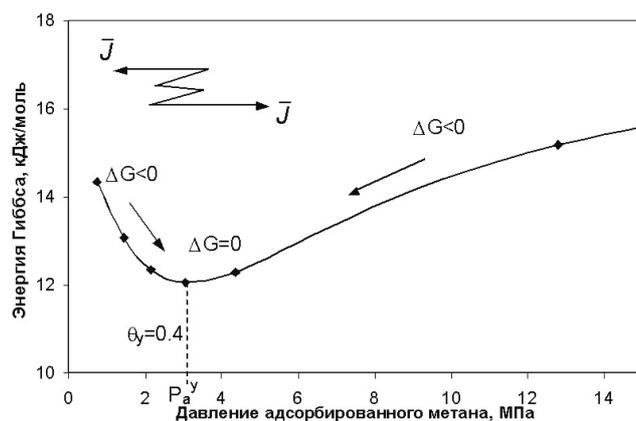


Рисунок. Зависимость энергии Гиббса ( $G$ ) от давления метана, адсорбированного в угольном пласте:  $\bar{J}$  - направление диффузионного потока;  $\theta_y$  - степень заполнения пор метаном при  $\Delta G = 0$

Характер взаимосвязи энергии Гиббса с давлением адсорбированного метана в рассматриваемых горно-геологических условиях залегания угольного пласта, согласно графику, представленному на рисунке, показывает, что наиболее вероятным является существование одного устойчивого ( $P_a = P_a^y$ ) и множества неустойчивых состояний. Последнее имеет место как в области малых ( $P_a < P_a^y$ ), так и в области больших ( $P_a > P_a^y$ ) давлений адсорбции метана. При этом можно выделить ряд состояний, близких к устойчивому, что наблюдается в области, когда  $\Delta G \approx 0$ . Неустойчивые состояния системы „адсорбированный метан-угольный пласт“ характеризуются

самопроизвольной диффузией метана в трещиновато-пористой угольной среде, обусловленной выравниванием давления адсорбированного метана вследствие либо поглощения пористой структурой угля свободного метана, либо самопроизвольного выделения метана из угольного пласта, когда давление адсорбции превышает предельное значение ( $P_a > P_a^y$ ). При этом, если угольный пласт „подпитывается“ свободным газом, например через него продолжительное время происходит фильтрация газа, то это приведет к тому, что в угольном массиве процесс сорбционного поглощения метана порами угля периодически будет сменяться процессом его спонтанного выделения и наоборот (рисунок). То есть, будет происходить цепной процесс самопроизвольного выделения адсорбированного метана из угольного пласта. Этот процесс можно охарактеризовать определенным периодом и другими параметрами, обусловленными горно-геологическими и горнотехническими условиями ведения горных работ.

Таким образом, оценка термодинамической устойчивости адсорбированного метана в угольном массиве позволяет понять физику различных процессов потери газодинамической устойчивости угольного массива и корректно объяснить многие газодинамические проявления горного давления, сопровождающиеся внезапными, периодически повторяющимися газовыделениями. Кроме того, использование данного подхода к оценке сорбционного состояния метана в угольном пласте может служить основой для уточнения безопасных условий ведения горных работ на высокогазонасыщенных угольных пластах и для повышения эффективности критериев прогноза выбросоопасности угольного массива.

Как показано в работах [15, 16], газ, мигрируя с глубин, периодически переходит из одного фазового состояния в другое – то есть он переходит из сорбированного состояния в свободный газ и обратно. Термодинамический потенциал метана, адсорбированного в порах угля одной и той же степени метаморфизма, повышается с увеличением глубины залегания пласта. Причем, с увеличением степени заполнения пор метаном, влияние глубины залегания угольного пласта на энергию Гиббса становится более существенным. При этом угольный пласт, что, собственно, и отмечалось дискутирующими между собой исследователями, будет с глубиной то весьма выбросоопасным, то неопасным, т.е. будет периодическое чередование опасности в массиве с изменением по глубине. Поэтому для однозначной оценки выбросоопасности необходимы критериальные соотношения, характеризующие изменения диффузионного и сорбционного ресурса метана в угле, которые предложены в ИГТМ НАН Украины [17]. При удачной разработке такой информационно – аналитической модели и корректного выбора критериев на ее основе, проблема изменения выбросоопасности угольных пластов с глубиной может быть решена, а дискуссия по данному направлению, длившаяся несколько десятилетий, будет наконец-то прекращена.

### Список литературы

1. Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля, породы и газа. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1989. – 192 с.
2. Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля (породы) и газа. – Караганда: ВостНИИ, 1999. – 158 с.
3. СОУ 10.1.00174088.011-2005 Правила ведения горных работ на пластах, склонных к газодинамическим явлениям. – К.: Минуглепром Украины, 2005. – 225 с.
4. Минеев С.П. Горные работы в сложных условиях на выбросоопасных угольных пластах / Минеев С.П., Рубинский А.А., Витушко О.В., Радченко А.Г. – Донецк: Вебер, 2010. – 470 с.
5. Николин В.И. Прогнозирование и устранение выбросоопасности при разработке угольных месторождений / Николин В.И., Васильчук М.П. – Липецк: Липецкроскомиздат, 1997. – 496 с.
6. Николин В.И. Прогноз выбросоопасности на период до 2000–2005гг. / Николин В.И., Напрасников С.В., Николин В.В. // Уголь Украины. – 1991. – №4. – С. 12–15.
7. Николин В.И., Александров С.Н. Теория выбросов и прогнозирование выбросоопасности / Николин В.И. – Киев: УМК ВО, 1989. – 116 с.
8. Нечаев А.В. Изменение выбросоопасности угольных пластов с глубиной // Безопасность труда в промышленности. – 1987. – №6. – С. 49–51.
9. Осипов С.Н. Об особенностях зональности газодинамических явлений в шахтах Донбасса / Осипов С.Н., Кузьяра В.И. // Уголь Украины. – 1989. – №12. – С. 27–30.
10. Потураев В.Н. Пульсационные и волновые эффекты в горном массиве / Потураев В.Н., Минеев С.П. – К.: Наук. думка, 1993. – 145 с.
11. Кузьяра В.И. О причинах роста выбросоопасности угольных пластов на глубоких горизонтах в Донбассе / Кузьяра В.И., Суло А.И., Осипов С.Н. // Уголь Украины. – 1992. – №12. – С. 47–52.
12. Рубинский А.А., Тимофеев Э.И. Проявление выбросоопасности угольных пластов в подготовительных выработках // Уголь Украины. – 2009. – №8. – С. 20–23
13. Выбросы угля, породы в шахтах Донбасса в 1906–2006 гг (Справочник) / Н.Е. Волошин, Л.А. Вайнштейн, А.М. Брюханов и др. – Донецк: Кассиопея, 2007. – 907 с.
14. Забигаило В.Е. Влияние катагенеза горных пород и метаморфизма углей на их выбросоопасность / Забигаило В.Е., Николин В.И. – К.: Наук. думка, 1990 – 168 с.
15. Минеев С.П. Активация десорбции метана в угольных пластах / Минеев С.П., Прусова А.А., Корнилов М.Г. – Д.: Вебер, 2007. – 252 с.
16. Минеев С.П. Оценка возможности самопроизвольного выделения сорбированного метана из угольного пласта / Минеев С.П., Прусова А.А., Корнилов М.Г. // Матер. міжнар. конф. „Форум гірників – 2008“: Секція „Рудникова аерологія та безпека праці“ – Д.: НГУ, 2008. – С. 111–117.
17. Минеев С.П. Свойства газонасыщенного угля. – Д.: НГУ, 2009. – 220 с.

Проведено аналіз глибини реалізації першого газодинамічного явища на різних вугільних пластах та розглянуто методики оцінки мінімальної глибини викидо-

небезпечності, для якої необхідно здійснювати прогноз викидонебезпечності під час ведення гірничих робіт. Показано, що для оцінки викидонебезпечності необхідно встановити критеріальні співвідношення, які характеризують зміни дифузійного та сорбційного ресурсів метану у вугіллі. За умов вибору критеріїв на основі інформаційно-аналітичної моделі, яку запропоновано ІГТМ НАН України, проблему викидонебезпечності вугільних пластів може бути вирішено.

**Ключові слова:** викидонебезпечність вугільного пласта, прогноз викидонебезпечності, глибина ведення гірничих робіт, тиск метану, адсорбція, Донецький басейн

An analysis of the first gas dynamic phenomena reactivation depth in different coal seams is conducted, and the estimation method of the outburst hazard minimal

depth, for which it is necessary to carry out the prognosis of the outburst hazard while mining, is considered. It is shown, that for estimating the outburst hazard it is necessary to set criterion correlations, that characterize the changes of diffusive and sorptive resources of methane in coal. Provided the correct choice of the criteria on the basis of the informative-analytical model, offered by IGTM NAN of Ukraine, the problem of the outburst hazard estimation of the coal seams can be decided.

**Keywords:** outburst hazard of coal seam, prognosis of outburst hazard, depth of mine works, methane pressure, adsorption, Donetsk basin

Рекомендовано до публікації д.т.н. А.М. Роєнком 06.06.10

УДК 622.013.364.2

© Калініченко В.О., Шепель О.Л., 2010

В.О. Калініченко, О.Л. Шепель

## УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДПРАЦЮВАННЯ ЛЕЖАЧОГО БОКУ ПОКЛАДІВ ПРИ СИСТЕМАХ РОЗРОБКИ З ОБВАЛЕННЯМ РУДИ І ВМІЩУВАЛЬНИХ ПОРІД

V.O. Kalinichenko, O.L. Shepel

## AN IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY OF WORKING OF DEPOSITS BOTTOM LAYER BY DEVELOPMENT SYSTEM WITH ORE AND ENCLOSING STRATA TOPPLING

Запропоновано технологію зменшення втрат руди на лежачому боці покладу за рахунок зміщення відбитої руди з „мертвої“ зони лежачого боку покладу в зону активного випуску. Розглянуто принцип зміщення відбитої руди, який досягається більш різким динамічним поштовхом концентрованого заряду вибухової речовини. Указано розташування заряду вибухової речовини в мінних карманах бурових ніш у лежачому боці покладу. Підкреслено, що підбивання запасів руди „мертвої“ зони лежачого боку в сторону випуску дозволяє зменшити втрати рудної маси на лежачому боці покладу.

**Ключові слова:** технологія відпрацювання, лежачий бік, поклад, система розробки, втрати руди, зміщення відбитої руди, „мертва“ зона, концентрований заряд, вибухова речовина, бурові ніші

**Постановка проблеми.** Розробка рудних родовищ з кутом падіння 50–65° системами розробки з обваленням руди й вміщувальних порід не забезпечує повноти видобутку запасів руди в лежачому боці покладу. Ці запаси, розташовані в так званій „мертвій“ зоні лежачого боку покладу, можуть бути досить значними і досягати 15–20% від загальних запасів [1]. Тому цьому питанню приділяється велика увага.

Основними причинами наднормативних втрат руди, на наш погляд, є:

- 1) складні гірничогеологічні та гірничотехнічні умови видобутку на більших глибинах;
- 2) недостатня інтенсивність відпрацювання потужних покладів в умовах високого гірського тиску;
- 3) разове списання у втрати залишків запасів руди панелей, які спрацьовувалися в попередні роки;
- 4) порушення технології очисного виймання масиву в окремих блоках (панелях);

5) недостатній контроль за повнотою й якістю вилучення руди із блоків.

Для більш повного й якісного вилучення залізної руди необхідно застосовувати найбільш ефективні, вдосконалені системи розробки.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для зниження втрат руди на лежачому боці покладу в „мертвій“ зоні у виробничих умовах застосовують [2]:

- 1) роздільне відпрацювання „трикутника“ пустих порід у лежачому боці (рис. 1, а) та часткову підробку („прирізку“) пустих порід лежачого боку, що застосовується на шахтах „Октябрська“, „Родіна“, „Артем-1“;
- 2) відпрацювання рудного „трикутника“ в лежачому боці в першу чергу (рис. 1, б);
- 3) виймання рудного „трикутника“ лежачого боку в другу чергу (рис. 1, в);
- 4) проведення додаткових випускних виробок у породах лежачого боку при обваленні рудного масиву