

УДК 622.831

Б.В. Бокий, С.Г. Ирисов, Е.В. Шкурат

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО ДЕСОРБОМЕТРИЧЕСКОГО ПРОГНОЗА ВЫБРОСООПАСНОСТИ И ОБЛАСТЬ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ

АП «Шахта им. А.Ф. Засядько»

*Показано, что десорбометрический способ прогноза выбросоопасности, разработанный МакНИИ, далек от совершенства и не способен оценить газовый фактор. Предложена методика более точной оценки данного фактора. Ориентировочно указаны условия, при которых по газовому фактору возможен прогноз газодинамических явлений.*

**Ключевые слова:** выбросоопасность, газоносность, десорбометрия, уголь

На шахте им. А.Ф. Засядько применяется сейсмоакустический прогноз газодинамических явлений (ГДЯ). Однако данный прогноз не удовлетворяет потребности производства, и его разработчик (МакНИИ) приступил к созданию прогноза выбросоопасности, основанного на одном из показателей, характеризующих выделение газа буровым угольным штыбом. В качестве такого показателя предлагается использовать величину давления газа  $P_{40}$ , выделившегося из угольного бурового штыба в замкнутый объем колбы за 40 с. Но этот показатель уже давно признан бесперспективным [1, 2] и его «внедрение» в производство не даст положительного результата. Поэтому целью данной статьи является разработка более совершенного десорбометрического прогноза выбросоопасности.

Уже давно исследованы два его варианта: дифференциальный и интегральный [1–4]. При дифференциальном способе измеряется расход выделяющегося из угля газа (скорость десорбции газа  $q$ ), выходящего из прибора в атмосферу; при интегральном – объем  $Q$  или давление  $P$  десорбированного газа, накапливающегося в емкости прибора [1, 3]. Дифференциальный способ выдает два показателя, с помощью которых удастся точно прогнозировать выбросы угля и газа при сотрясательном взрывании (СВ) на особо выбросоопасных пластах [4]. Однако при СВ польза от прогнозирования выбросоопасности невелика. Прогнозирование должно способствовать сокращению объемов СВ и увеличению объемов комбайновой проходки. Поэтому одной из задач прогнозирования является сведение к минимуму ошибок второго рода, когда в невыбросоопасной обстановке ошибочно выдается прогноз «опасно». Имеются основания считать, что на больших глубинах разработки и при относительно высоких скоростях подвигания забоя подготовительной выработки показатель  $P_{40}$  будет характеризоваться

высокими значениями даже в невыбросоопасной обстановке. Тем не менее по данному показателю можно оценить газовый фактор, если учитывать условия измерений, что не предусмотрено методикой МакНИИ. (Газовым фактором следует считать газоносность пласта в точке отбора пробы или давление газа.)

При дифференциальной десорбметрии оценка выбросоопасности производится по двум показателям:  $q_0$  и  $d$  [2, 4]. Показатель  $q_0$  оценивает газовый фактор, численно равен скорости десорбции в момент времени  $t = 1$  мин после отрыва угля от массива и зависит от его газоносности  $X_0$  и физико-химических свойств. Показатель  $d$  оценивает структурный фактор, характеризует интенсивность затухания  $q$  во времени  $t$  и не зависит от  $X_0$ , являясь качественной характеристикой склонности угля к ГДЯ. Использование показателя  $d$  позволяет снизить вероятность ошибок второго рода при высоких значениях  $X_0$  (т.е. при высоких значениях  $q_0$ ), являющихся, как и показатель  $P_{40}$ , оценкой газового фактора выбросоопасности. Однако для этого необходимы высокая точность фиксации параметра  $t$ , автоматизация процесса измерений  $q$  и учет состава газовой смеси, проходящей через капилляр. Последнее обусловлено тем, что в начальный период измерений через расходомер проходит не только метан, содержащийся в угле, но и воздух, оставшийся в колбе с углем к моменту ее закупорки и влияющий на вязкость смеси.

В интегральной десорбметрии, когда измеряют либо  $Q$ , либо  $P$ , потребности в оценке газового состава отсутствуют, а перепады давления значительно больше, чем при использовании расходомера, что позволяет применять датчики давления и автоматизировать процесс измерения.

Шахтные и лабораторные исследования показали, что при определенных навыках возможна успешная визуальная фиксации  $P$  во времени  $t$ . Для этого можно использовать манометры с ценой деления 2 мм рт. ст. и приборы ПГ-2МА с перекрытым штуцером для выхода газа.

В лаборатории уголь насыщался метаном при давлении сорбционного равновесия  $P_0 = 1-4$  МПа, для чего отбирались пробы угля пластов  $l_4$  и  $m_3$  шахты им. А.Ф. Засядько,  $l_3$  шахты «Краснолиманская» и  $h_6^1$  шахты им. А.А. Скочинского. Кроме того, в подземных условиях были проведены измерения на пластах  $l_1$  шахты им. А.Ф. Засядько и  $h_6^1$  шахты им. А.А. Скочинского.

Исследованиями установлено, что кинетика интегральной десорбции газа пробами угля, отобранными в опасных и неопасных по выбросам зонах, при высоком корреляционном отношении  $\eta$  описывается формулой вида

$$P = a \ln t + b, \quad (1)$$

где  $a$  и  $b$  – эмпирические коэффициенты, имеющие размерность давления;  $t$  – текущее время, прошедшее с момента выбуривания пробы или с момента сброса давления газа в колбе, мин.

Значение  $a$  зависит от  $P_0$ , массы угля в пробе  $m_y$  и его физико-химических свойств, степень влияния которых на величину  $a$  заранее не известна. Коэффициент  $b$  определяется теми же факторами и временем задержки начала

измерений  $t_0$  относительно момента начала десорбции. Это означает, что обнаружить различия в кинетике десорбции газа «опасными» и «неопасными» углями при интегральной десорбметрии труднее, чем при дифференциальной. Качественное сходство кинетики десорбции газа углями из выбросоопасных и неопасных зон иллюстрирует рис. 1.

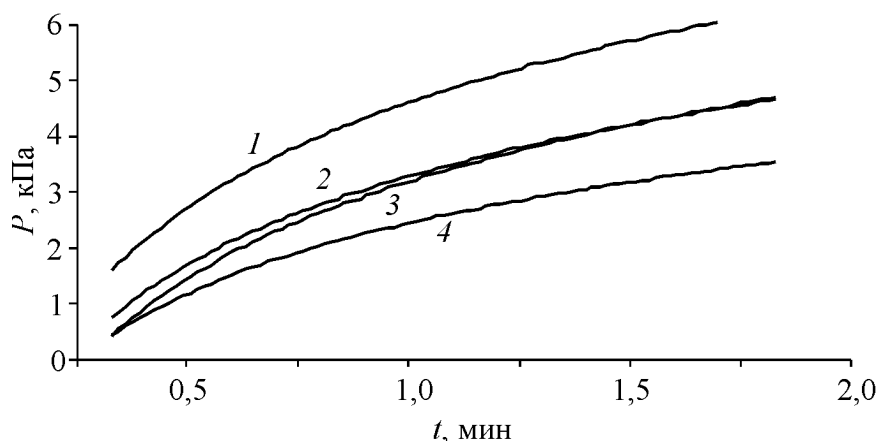


Рис. 1. Логарифмическая зависимость  $P$  от  $t$  для угля: 1 – отобранного с места внезапного выброса ( $m_y = 0,441$  кг; свободный объем прибора с углем  $V_c = 0,92$  дм<sup>3</sup>;  $P_o = 2,99$  МПа); 2 – из неопасной зоны ( $m_y = 0,511$  кг;  $V_c = 0,96$  дм<sup>3</sup>;  $P_o = 3,23$  МПа); 3 – из места внезапного выброса ( $m_y = 0,441$  кг;  $V_c = 0,92$  дм<sup>3</sup>;  $P_o = 1,76$  МПа); 4 – из неопасной зоны ( $m_y = 0,511$  кг;  $V_c = 0,96$  дм<sup>3</sup>;  $P_o = 1,84$  МПа). Для всех кривых  $\eta \geq 0,97-0,99$

Однако интегральный способ позволяет получить важный параметр процесса  $t_0$ . Учет данного параметра необходим для корректировки  $P_{40}$  при плотной «упаковке» пробы, применяемой по методике МакНИИ, т.е. при низком значении  $U$ :

$$U = V_c/m_y. \quad (2)$$

При плотной «упаковке» ( $U < 2$  дм<sup>3</sup>/кг) без учета  $t_0$  связь между  $P_{40}$  и  $P_o$  не проявляется [1] (рис. 2,а). Однако при каждом эксперименте значение  $t_0$  можно получить, используя (1), по формуле

$$t_0 = \exp(-b/a). \quad (3)$$

Затем произведение  $P_{40}t_0$ , полученное по результатам измерений и расчета, можно использовать для оценки газового фактора, поскольку это произведение тесно ( $r^2 = 0,8655$ ) увязано со значениями  $P_o$  (рис. 2,б).

Как следует из формулы (1), при нарастающем «противодавлении»  $P$  скорость десорбции газа  $q$  определяется выражением

$$q = aV_c/t. \quad (4)$$

От уравнения (4) несколько отличается формула, описывающая кинетику десорбции при выпуске газа через капилляр [5]:

$$q = q_0/t^d, \quad (5)$$

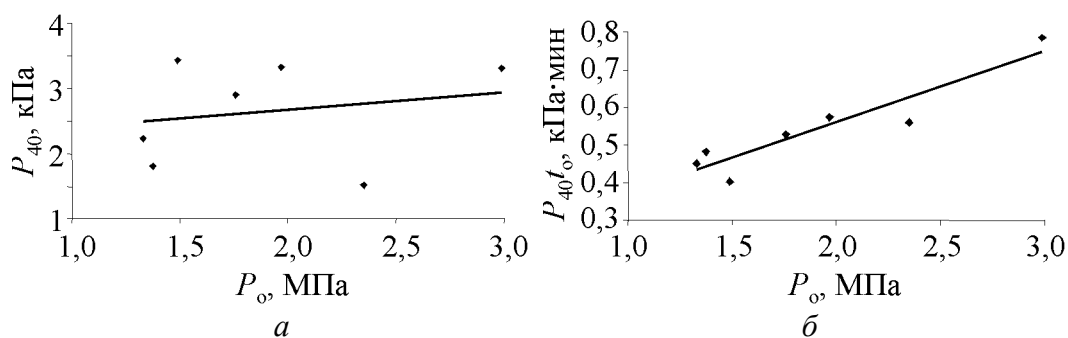


Рис. 2. Зависимость от начального давления газа  $P_0$  для угля с места выброса: а – показателя  $P_{40}$ , б – произведения  $P_{40}t_0$

где  $d$  – не зависящий от  $X_0$  или  $P_0$  показатель степени, постоянный при  $t \leq \leq 20$ –30 мин: для неопасных зон  $d \leq 0,75$ , для выбросоопасных  $d > 0,75$ –1,00, что позволяет использовать его при прогнозе в качестве структурного показателя [1, 3].

Таким образом, дифференциальная десорбометрия предпочтительнее, чем интегральная, поскольку оперирует двумя показателями выбросоопасности –  $q_0$  и  $d$ , а интегральная – только одним  $q_0$ . При наличии противодавления  $P$  показатель  $d$  одинаков для всех исследованных проб угля ( $d = 1,00$ ).

В условиях шахты им. А.Ф. Засядько прогнозировать ГДЯ только по оценке газового фактора не имеет смысла. На это указывает большой размах вариации значений относительной газообильности  $\theta$  при ГДЯ во время проходки выработок по пластам  $k_8$  и  $l_1$  в период 1990 – 2000 гг. ( $0 < \theta < 250 \text{ м}^3/\text{т}$ ). Кроме того, в забоях пластов с одинаковой природной газоносностью в разное время суток значения  $\theta$  различны: утром (с 6 до 8 ч) они выше, чем вечером (с 18 до 20 ч) (рис. 3).

Однако для оценки перспективы и области применения десорбометрического прогноза важны не столько значения  $\theta$ , сколько характер зависимости объема «выброшенного» газа  $Q$  от массы «выброшенного» угля  $A$ .

Практически линейная зависимость  $Q$  от  $A$ , которая наблюдается утром при ГДЯ после СВ в забоях выработок пласта  $k_8$  (рис. 3,а), позволяет рассчитывать

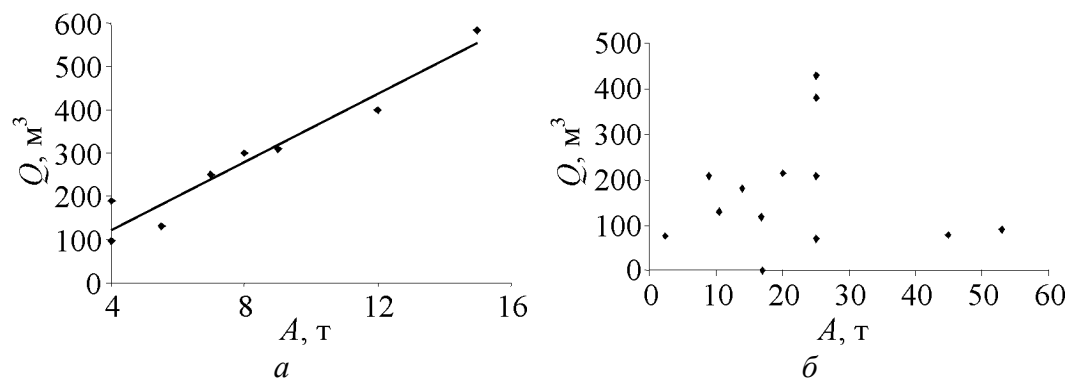


Рис. 3. Зависимость  $Q$  от  $A$  при ГДЯ, происшедших в забоях пласта  $k_8$  утром (а) и вечером (б)

на успешное применение десорбметрии в качестве прогноза ГДЯ. В тех же выработках вечером прямая связь между  $Q$  и  $A$  не наблюдается (рис. 3,б). Кроме того, утром выбрасывается большее количество газа, а вечером – угля. К примеру, вечером 11.08.98 при выбросе 17 т угля «дополнительный» объем газа отсутствовал ( $Q \sim 0$ ).

Можно утверждать, что низкие значения  $\theta$  являются следствием существенной дегазации пласта перед ГДЯ. Поэтому в таких условиях перед ГДЯ оценка газового фактора должна быть низкой, а выданный на ее основе прогноз – ошибочным.

В иных случаях соотношения  $Q$  и  $A$  указывают на высокую газонасыщенность пласта перед ГДЯ. Такой вывод следует из рис. 3,а, где линия графика пересекает ось абсцисс в точке  $A \sim 0,9$  т и при высоком значении коэффициента корреляции ( $r = 0,9686$ ) описывается следующим линейным уравнением:

$$Q = 39,4A - 35,0. \quad (6)$$

Здесь угловой коэффициент  $k = 39,4$  следует считать количеством газа, выделившегося из 1 т «выброшенной» массы, а свободный член – количеством газа, выделившегося из пласта по периметру полости выброса. Отрицательное значение свободного члена, вероятно, обусловлено, методикой расчета  $Q$ , согласно которой из общего объема газовыделения при ГДЯ вычитается объем «фоновое» газовыделения за время, в течение которого наблюдалась повышенная концентрация метана в забое. Без вычитания фонового объема газа линия графика зависимости  $Q$  от  $A$  проходит практически через начало координат при прежнем угловом коэффициенте. Это дает основание предполагать, что в данных условиях после ГДЯ по периметру полости газ практически не выделяется, а значение  $k$  почти вдвое превышает природную газоносность пласта  $k_8$ . Поэтому можно считать, что перед всеми ГДЯ, происшедшими утром в данных забоях, газоносность угля в призабойной зоне была стабильно высокой, и, следовательно, по газовому фактору можно было бы успешно прогнозировать выбросоопасность.

Низкие значения  $\theta$  при ГДЯ, происшедших вечером (рис. 3,б), поставили под сомнение целесообразность в этих условиях при прогнозе ориентироваться на газовый фактор. Тем более, что при некоторых ГДЯ повышенное газовыделение либо отсутствовало, либо было незначительным.

С позиций современных воззрений на процессы перемещения газа в пластах различие между газообильностью «утренних» и «вечерних» ГДЯ может быть поставлено под сомнение. Однако оно четко прослеживается при проведении и 9-го восточного, и 9-го западного конвейерных штреков пласта  $l_1$ , где СВ производилось соответственно утром и вечером. Зависимость  $Q$  от  $A$  для «утренних» ГДЯ характеризовала формула ( $r \sim 0,93$ ):

$$Q = 22,1A + 122, \quad (7)$$

а для «вечерних» (без двух значений, выпадающих из общей совокупности), при  $r \sim 0,87$  – формула

$$Q = 6,2A + 64,7. \quad (8)$$

Необходимо отметить, что природная газоносность пластов  $k_8$  и  $l_1$  находится на уровне 20–24 м<sup>3</sup>/с.б.м., поэтому коэффициент пропорциональности в (7) указывает на отсутствие перед ГДЯ естественной дегазации массива – в призабойной зоне пласт сохраняет природную газоносность. Это благоприятствует успешному прогнозированию по десорбиметрическим показателям. Однако вечером  $k = 6,2$  м<sup>3</sup>/т, что втрое меньше значения природной газоносности и ставит под сомнение возможность прогнозирования по газовому фактору ( $P_{40}$ ,  $q_0$  и т.д.).

Разделение всей совокупности ГДЯ, имевших место на пластах  $k_8$  и  $l_1$ , по времени суток на две группы подкрепило вывод о превосходстве «утренних» значений  $\theta$  над «вечерними» (рис. 4). Утром наиболее высокая вероятность ГДЯ ( $f_{\max} = 0,27$ ) имела место при  $\theta = 22$ , вечером ( $f_{\max} = 0,56$ ) – при  $\theta \leq 5$  м<sup>3</sup>/т. Максимальное и среднее значения относительного газовыделения для утра и вечера составляли соответственно  $\theta_{\max} = 60\text{--}70$  и  $\theta_{\max} = 30\text{--}40$  м<sup>3</sup>/т,  $\theta_{\text{ср}} = 27 \pm 2$  и  $\theta_{\text{ср}} = 12 \pm 2$  м<sup>3</sup>/т.

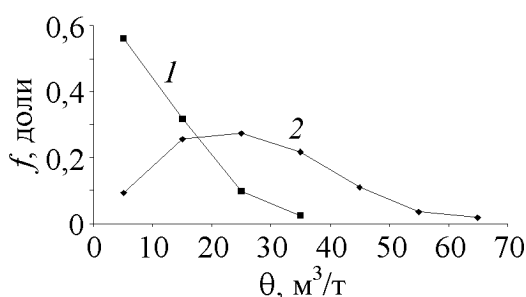


Рис. 4. Распределение вероятности ГДЯ  $f$  по величине относительной газообильности  $\theta$ : 1 – вечером; 2 – утром

Таким образом, можно считать, что при высокой газоносности призабойной зоны утром произошло более 90% всех ГДЯ, а вечером – не более 40%.

Результаты данных исследований свидетельствуют, что при ГДЯ значения  $\theta$  варьируются в широком диапазоне:  $0 \leq \theta \leq 250$  м<sup>3</sup>/т. Поэтому один лишь показатель  $P_{40}$ , так же как и более точный, оценивающий только газовый фактор, не достаточен для прогноза ГДЯ в условиях шахты им. А.Ф. Засядько. Вероятно, на одних и тех же пластах по значению  $\theta$  можно условно выделить три разновидности ГДЯ: 1) выбросы одного лишь газа (ВГ); 2) выбросы угля и газа (ВУГ); 3) выбросы угля без существенного объема «дополнительного» газа (ВУ). На особо выбросоопасных пластах (например, пласт  $h_6^1$  шахты им. А.А. Скочинского) при ВУГ значения  $\theta$  находятся в относительно узком диапазоне:  $\theta = 20\text{--}30$  м<sup>3</sup>/т, что благоприятствует прогнозированию ВГ и ВУГ по газовому фактору. Однако и в таких условиях нам известен случай ВУ массой более 80 т и с признаками горного удара, при котором  $\theta = 6$  м<sup>3</sup>/т [6].

Все это в очередной раз поднимает вопрос о роли газа при внезапных выбросах. В тех случаях, когда  $Q$  и  $A$  связаны между собой линейно, нет возможности получить новые сведения о роли газа. При ином распределении  $Q$  по  $A$  такая возможность появляется, если в качестве параметра принять  $Q$ , а функции –  $A$ . Если допустить, что газ, содержащийся в угле, является только

источником энергии выброса, то с увеличением  $Q$  должна наблюдаться тенденция к росту  $A$ . Однако для ГДЯ в 9-м западном штреке пласта  $l_1$  данная тенденция прослеживается только при  $Q \leq 820$ . При  $Q > 820 \text{ м}^3$  значение  $A$  снижается при увеличении  $Q$  (рис. 5). Максимальное  $A$  имеет место при  $\theta = 3,5\text{--}3,6 \text{ м}^3/\text{т}$ . Кроме того, в разных диапазонах  $Q$  наблюдается разный характер зависимости  $\theta$  от  $A$ . При  $Q > 820 \text{ м}^3$  данную зависимость для 7 случаев ГДЯ, происшедших в забоях 8-го и 9-го западных штреков пласта  $l_1$ , при  $\eta = 0,936$  отражает гипербола

$$\theta = 1240/A. \quad (9)$$

При  $Q < 820 \text{ м}^3$  в 30 случаях ГДЯ, происшедших в тех же забоях, зависимость  $\theta$  от  $A$  имеет более сложный характер, но сохраняет тенденцию к снижению  $\theta$  при увеличении  $A$ . В 14 случаях ГДЯ, происшедших в забое 9-го восточного штрека, зависимость  $A$  от  $\theta$  при  $\eta = 0,885$  соответствует закону нормального распределения, а максимальные значения  $A$  наблюдаются при  $\theta \sim 26\text{--}27 \text{ м}^3/\text{т}$ .

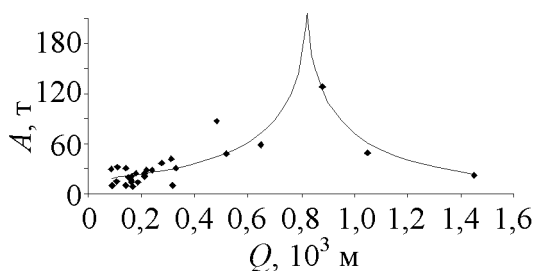


Рис. 5. Зависимость «выброшенной» массы угля  $A$  от объема «дополнительного» газовыделения  $Q$  в забой 9-го западного штрека пласта  $l_1$

Данные факты свидетельствуют о том, что в некоторых выработках невозможно прогнозировать опасность ГДЯ по газовому фактору. Тем более не допустимо использовать показатель  $P_{40}$ , который не дает точной оценки даже газового фактора. Для точного прогнозирования выбросоопасности необходимо поиск некоего общего для всех ГДЯ признака, не зависящего от газоносности пласта.

### Выводы

Величина давления газа, выделяющегося из угольной пробы в замкнутый объем, во времени хорошо описывается формулой натурального логарифма, дающего возможность определять время задержки измерений относительно момента выбуривания пробы. Произведение величины давления десорбированного газа на время задержки дает оценку давлению газа в угле в момент его отторжения от массива. Величина давления десорбированного газа, измеренного в какой-то момент времени, не дает нужной для прогноза оценки. Оценка газового фактора не всегда пригодна для прогноза ГДЯ, так как удельный объем «выброшенного» газа колеблется в широких пределах, а в ряде случаев наиболее масштабные ГДЯ характеризует очень низкое удельное газовыделение. Параметры ГДЯ зависят от времени суток. Необходимо

изыскание возможности оценивать выбросоопасность независимо от газоносности. Внедрение в практику показателя интегрального десорбометрического прогноза, предлагаемого МакНИИ, нецелесообразно.

1. *Бокий Б.В.* Применение интегральной десорбометрии для прогнозирования выбросоопасности зон угольных пластов / Б.В. Бокий, С.Г. Ирисов, П.Г. Ставицкий // Уголь Украины. – 2009. – №10. – С. 26–28.
2. *Ноак К.* Разработка методов и приборов для оценки выбросоопасности / К. Ноак, Х. Янас // Глюкауф. – 1981. – №13. – С. 36–41.
3. *Бокий Б.В.* Выбор оптимального способа десорбометрии для оценки газоносности и выбросоопасности призабойной зоны угольного пласта / Б.В. Бокий // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. трудов. – 2002. – Вып. 36. – С. 3–9.
4. *Ирисов С.Г.* Десорбометрия как способ прогноза внезапных выбросов / С.Г. Ирисов // Уголь Украины. – 1983. – № 9. – С. 27–29.
5. *Скляр Л.А.* Закономерности выделения метана из отбитого угля / Л.А. Скляр // Разработка месторождений полезных ископаемых. – 1965. – Вып. 4. – С. 113–118.
6. *Ирисов С.Г.* Исследование газоносности призабойной зоны выбросоопасных пластов / С.Г. Ирисов, В.А. Псахис // Безопасность труда в промышленности. – 1982. – №11. – С. 47–49.

Б.В. Бокій, С.Г. Ірисов, Є.В. Шкурат

#### УДОСКОНАЛЕННЯ ІНТЕГРАЛЬНОГО ДЕСОРБОМЕТРИЧНОГО ПРОГНОЗУ ВИКИДОНЕБЕЗПЕЧНОСТІ І ГАЛУЗЬ ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ

*Показано, що десорбометричний засіб прогнозу викиднебезпечності, розроблений у МакНДІ, не є досконалим і не здатен оцінювати газовий фактор. Запропоновано методи більш точної оцінки даного фактору. Указано умови, за яких по газовому фактору можливо прогнозувати газодинамічні явища.*

**Ключові слова:** викиднебезпечність, газоносність, десорбометрія, вугілля

B.V. Bokii, S.G. Irisov, E.V. Shkurat

#### IMPROVEMENT IN THE INTEGRAL DESORBOMETRICAL OUTBURST HAZARD FORECASTING METHOD AND SCOPE OF APPLICATION

*It is shown that the desorbometrical outburst hazard forecasting method developed in MakNII is still imperfect and incapable of estimating the gas factor. A technique for more accurate estimation of this factor is proposed. Conditions are roughly defined under which the gas dynamic phenomena forecasting using the gas factor becomes possible.*

**Keywords:** outburst hazard, gas content, desorbometry, coal

*Статья поступила в редакцию 11 марта 2010 года*