

УДК 622.831:537.86

Завражин В.В., канд. техн. наук, ст. науч. сотр.,
Шажко Я.В., канд. техн. наук, мл. науч. сотр.,
Кольчик И.Е., канд. техн. наук, ст. науч. сотр.,
Кравченко А.В., канд. техн. наук, науч. сотр.,
Ожегова Л.Д., мл. научн. сотр.
(ИФГП НАН Украины)
Хуанган Н., аспирант
(Карагандинский государственный
технический университет, Казахстан)

**РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИЕМОЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ СПОСОБА ОЦЕНКИ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОТИВОВЫБРОСНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПРИ
ВСКРЫТИИ СКЛОННЫХ К ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМ ЯВЛЕНИЯМ
КРУТОНАКЛОННЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ**

Завражин В.В., канд. техн. наук, ст. науч. співр.
Шажко Я.В., канд. техн. наук, мол. наук. співр.,
Кольчик І.Є., канд. техн. наук, ст. наук. співр.,
Кравченко А.В., канд. техн. наук
Ожегова Л.Д., мл. научн. сотр.
(ІФГП НАН України)
Хуанган Н., аспірант
(Карагандінський державний
технічний університет, Казахстан)

**РЕЗУЛЬТАТИ ПРИЙМАЛЬНИХ ВИПРОБУВАНЬ СПОСОБУ
ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОТИВИКИДНИХ ЗАХОДІВ ПРИ
РОЗКРИТІ СХИЛЬНИХ ДО ГАЗОДИНАМІЧНИХ ЯВИЩ
КРУТОПОХИЛИХ ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ**

Zavrzhyn V.V., Ph. D. (Tech.), Senior Researcher,
Shazhko Y.V., Ph. D. (Tech.), Junior Researcher,
Kolchik I.E., Ph. D. (Tech.), Senior Researcher,
Kravchenko A.V., Ph. D. (Tech.), Researcher,
Ozhegova L.D., M.S/ (Tech)
(IFMR NAS of Ukraine)
Huanggang N., doctoral student
(Karaganda state technical university, Kazakhstan)

**THE RESULTS OF ACCEPTANCE TESTS OF A METHOD FOR
ESTIMATING EFFICIENCY OF OUTBURST-PREVENTING MEASURES
AT OPENING OF STEEPLY INCLINED COAL SEAMS PRONE TO THE
APPEARANCE OF GAS DYNAMIC PHENOMENA**

Аннотация. В работе обоснованы критерий и параметры способа оценки эффективности противовыбросных мероприятий при вскрытии склонных к газодинамическим явлениям крутонаклонных угольных пластов с использованием шахтного измерителя массопереноса метана в угле.

Приведены результаты горно-экспериментальных работ и приемочных испытаний при вскрытии промквершлагами 4 угольных пластов на шахтах ГП «Дзержинскуголь».

Показано, что критерий оценки при вскрытии угрожаемых угольных пластов m_3 -«Толстый» и m_2 -«Тонкий» гор. 710 м «ОП «Шахта Торецкая» характеризует их газодинамическое состояние как неопасное ($B < 5$). При вскрытии выбросоопасных угольных пластов m_3 -«Толстый» и m_2 -«Тонкий» гор. 1146 м шахты им. Ф.Э. Дзержинского, величина критерия составляло $B=7,8-8,9$, а после проведения противовыбросных мероприятий соответствовало $B=3,6-4,9$ при этом газодинамические явления не зафиксированы.

В целом результаты приемочных испытаний свидетельствуют о возможности применения критерия B для оценки эффективности противовыбросных мероприятий при вскрытии склонных к газодинамическим явлениям крутонаклонных угольных пластов.

Ключевые слова: вскрытие, противовыбросные, угольный пласт.

Условия разработки крутых и крутонаклонных угольных пластов характеризуются рядом особенностей, к числу которых относятся большие значения углов падения пластов и глубины разработки, тектоническая нарушенность, склонность к внезапным выбросам угля, породы и газа и другие факторы.

В Донецком бассейне ежегодно разрабатываются свыше 500 шахтопластов, угол падения которых колеблется от 35 до 90°. В основном такие пласты сосредоточены в Центральном районе Донецкого бассейна. Практически все шахты района отнесены к опасным по внезапным выбросам угля и газа.

Из анализа геомеханических процессов, определяющих газодинамические явления (ГДЯ) при вскрытии угольных пластов, следует, что эти процессы связаны с особенностями нагрузки (разгрузки) части пласта, физико-механическими особенностями угля и отсутствием возможности десорбции газа до момента обнажения пласта. Естественно может возникнуть ситуация, когда избыток накопленной пластом потенциальной энергии приведет к потере устойчивости его новообнаженной поверхности, что будет выражено в разрушении пласта, а при соответствующей газонасыщенности закончится выбросом угля и газа. Одним из направлений, которое используется для снижения интенсивности и частоты выбросов угля и газа, является снижение прочностных и упругих свойств угля, определяющих граничное напряжение в пласте и его прочность. Это направление положено в основу разработки способов предотвращения ГДЯ. Воздействуя на трещиновато-пористую структуру угольного вещества, эти способы с разной степенью эффективности меняют газодинамическое состояние угольного пласта. При этом дать точную оценку склонности пласта к газодинамическим проявлениям после воздействия на пласт противовыбросными мероприятиями не представляется возможным без контроля эффективности.

Критерии оценки эффективности способов предотвращения ГДЯ базируются на учете давления метана в пласте и скорости газовыделения [1]. Параметры, характеризующие эффективность противовыбросных мероприятий, приведены в табл. 1.

Таблица 1 - Способы предотвращения ГДЯ при вскрытии крутых пластов и критерии оценки их эффективности

Способы предотвращения ГДЯ	Параметр, характеризующий эффективность способа	Предельное значение параметра, характеризующего эффективность способа
Вскрытие квершлагами и другими выработками в сочетании с:		
бурением дренажных скважин;	Давление метана в пласте P_2	$P_{эф} < 1$ МПа
гидровывыванием;	Давление газа в 4 м за контуром выработки	$P_{эф} < 1$ МПа
возведением каркасной крепи;	-	-
гидродинамическим воздействием на пласт	Давление газа в 4 м за контуром выработки P_2 или скорость газовыделения q	$P_{эф} < 1$ МПа $q \leq 2$ л/мин
Вскрытие квершлагами с нагнетанием воды в пласт	Давление нагнетаемой воды P_n	$P_{эф} \leq P_n/1,3$

Анализ представленных параметров свидетельствует, что вне зависимости от способов предотвращения ГДЯ при вскрытии угольных пластов контроль эффективности противовыбросных мероприятий осуществляется по уровню давления метана в угле и скорости газовыделения. Естественно, этот параметр при прочих равных условиях является ключевым и при оценке эффективности мероприятий. Основным недостатком такого контроля – фактор времени, связанного с ожиданием установления сорбционного равновесия метана в контрольных скважинах.

Более оперативные способы контроля эффективности противовыбросных мероприятий основаны на измерениях параметров сигнала спектров ЯМР-¹H [2], а также отношения количества метана и физически связанной влаги [3] до и после гидрообработки угольного пласта. Однако эти способы требуют специального оборудования для проведения оценки эффективности противовыбросных мероприятий в шахтных условиях.

С учетом представленного анализа, целью настоящей работы является интегральная оценка эффективности противовыбросных мероприятий при вскрытии склонных к ГДЯ крутонаклонных угольных пластов, основанная на определении давления газа и параметра эффективной диффузии с помощью измерителя массопереноса метана (ШИММ), характеризующих газодинамическую активность угольного массива во времени и пространстве [4].

Физической основой определения газодинамического состояния является тот факт, что процесс, связанный с формированием выбросоопасных зоны и выбросом угля и газа, должен иметь несколько подготовительных фаз. При этом физико-химические изменения в каждой фазе протекают за определенный промежуток времени. В принципе возможны два случая формирования выбросоопасных ситуаций. Первый определяется локальностью природы выбросоопасности, а второй связан с накоплением изменений в структуре угля, фазовыми превращениями на уровне водородных взаимодействий, формирующихся за счет импульса взрывных работ. Применительно к глубине 600-1200 м с учетом коэффициента концентрации напряжения во вскрываемом угольном пласте суммарное напряженное состояние будет составлять в среднем 100-120 МПа, что близко к давлению, приводящему к механо-химическим реакциям типа взрыва в твердых телах.

Независимо от условий формирования выбросоопасных зон должны происходить изменения в структуре угля, влияющие на процесс истечения метана, степень изменения которого можно контролировать по параметрам эффективной диффузии $D_{эф}$ (m^2/c) и давлению газа в угле.

По результатам исследований, проведенных на шахтах Донбасса в различных горно-геологических и горнотехнических условиях, был разработан способ экспресс-оценки газодинамического состояния угольного пласта в месте отбора проб (рис.1).

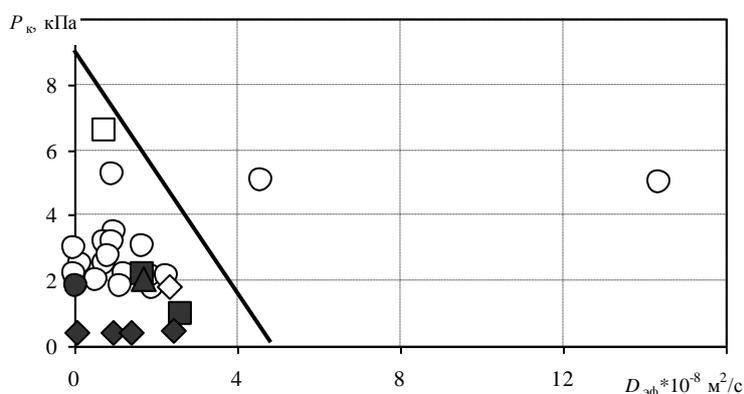


Рисунок 1 - Результаты исследований по оценке газодинамического состояния угольных пластов на шахтах Донбасса: \circ – им. А.А. Скочинского, \bullet – им. А.Ф. Засядько, \blacksquare – им К.А. Румянцева, \square – им. В.И. Ленина, \blacktriangle – им. Ф.Э. Дзержинского, \diamond – «Северная», \blacklozenge – «Шахтерская-Глубокая»

Способ оценки газодинамического состояния участка угольного пласта заключается в бурении скважин в участок угольного массива, поинтервальный отбор проб угля заданного объема в виде двух фракций диаметром 0,4–0,6 мм и 1,0–1,6 мм, установлении зависимости количества десорбирующегося метана для каждой угольной фракции от времени в течение проведения измерений. По полученным зависимостям строят кривую, описывающую кинетику десорбции метана и рассчитывают эффективный коэффициент массопереноса [5].

Определение давления в кювете и параметров массопереноса метана в угольном пласте должно производиться по показаниям измерителя ДС-03 (ШИММ) [6].

Аппроксимирующая линия, разделяющая неопасное состояние угольного массива от области, в которой произошли ГДЯ, фактически является критерием оценки состояния угольного массива, учитывающим десорбционные свойства угля. Его можно представить в виде:

$$B = 0,44P_k + 1,14 \cdot 10^8 D_{эф} \geq 5, \quad (1)$$

где P_k – давление в кювете шахтного измерителя массопереноса, кПа; $D_{эф}$ – эффективный коэффициент массопереноса метана, м²/с.

Критерий (1) был взят за основу при проведении приемочных испытаний способа оценки эффективности противовыбросных мероприятий при вскрытии склонных к ГДЯ крутых угольных пластов.

Приемочные испытания разработанного способа осуществлялись в условиях шахт «ОП «Шахта Торецкая» и им. Ф.Э. Дзержинского ГП «Дзержинскуголь». Объем испытаний составил 2 и 4 вскрытия на пластах m_2 -«Тонкий» и m_3 -«Толстый» шахт соответственно «ОП «шахта Торецкая» и шахты им. Ф.Э.Дзержинского.

Отбор проб для оценки эффективности противовыбросных мероприятий проводили при бурении скважин в пласт через породную пробку не менее 3 м (рис. 2).

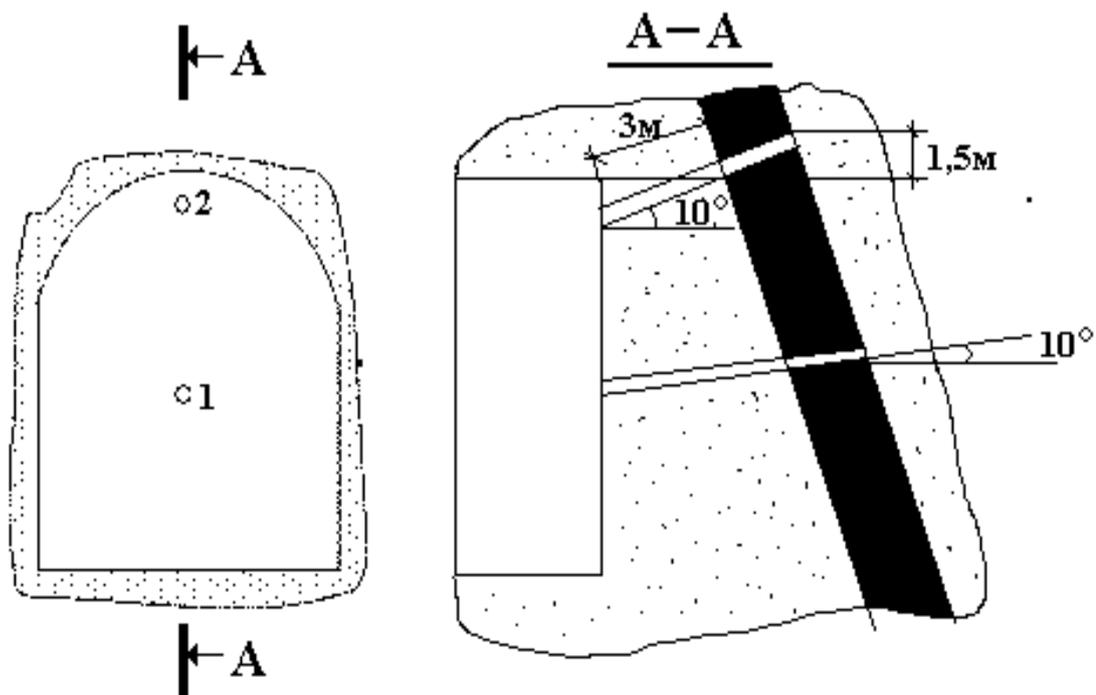


Рисунок 2 - Схема расположения скважин в забое подготовительной выработки при вскрытии крутопадающих угольных пластов

Давление и эффективный коэффициент массопереноса определяли шахтным измерителем массопереноса метана в интервале от 24 до 48 ч после проведения противовыбросных мероприятий.

В табл. 2 и 3 представлены результаты приемочных испытаний соответственно на пластах ОП «Шахта Торецкая» и шахте им. Ф.Э. Дзержинского ГП «Дзержинскуголь».

Таблица 2 - Результаты приемочных испытаний на «ОП «Шахта Торецкая» ГП «Дзержинскуголь»

Пласт, угрожаемый, квершлаг 1ЗПШ - 42 гор. 710м, (без мероприятия)	P_k , Па	$D_{эф, 2}$, $\cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$	B	Оценка состояния
m_3 ,	2395	1,9	3,2	-
m_2 ,	2100	1,5	2,6	-

Таблица 3 - Результаты приемочных испытаний на шахте им. Ф.Э. Дзержинского ГП «Дзержинскуголь»

Пласт, место вскрытия, мероприятия	P_k , Па	$D_{эф, 2}$, $\cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$	B	B_n/B_m	Оценка состояния
m_3 -«Толстый», квершлаг 3 ВПШ - 41 № 17 гор. 1146м: перед мероприятием; после мероприятия	10560	2,8	7,8	1,72	-
	3135	3,1	4,9		
m_2 -«Тонкий», квершлаг 3 ВПШ - 41 № 17 гор. 1146м: перед мероприятием; после мероприятия	7648	4,9	8,9	<1	-
	10540	3,4	8,5		
квершлаг 3 ЗПШ - 42 № 8 гор. 1146м, после мероприятия: m_3 -«Толстый»; m_2 -«Тонкий»	7125	0,4	3,6	2,06	Эффективно
	3872	2,3	4,3	2,07	Эффективно

На угрожаемых пластах «ОП «Шахта Торецкая» противовыбросные мероприятия не проводили и вскрытия осуществляли по нормативной методике [1] с контролем выбросоопасности по комплексному показателю. Оценка потенциальной газодинамической активности угольных пластов в месте вскрытия показала отсутствие возможности выброса по критерию (1).

На шахте им. Ф.Э. Дзержинского пласты вскрывались без прогноза выбросоопасности по комплексному показателю, но во всех случаях применялись локальные методы борьбы с выбросами (гидровоздействие и каркас безопасности).

В результате выполненных приемочных испытаний проведена оценка эффективности противовыбросных мероприятий при вскрытии на 4 пластах 2 шахт крутого падения ГП «Дзержинскуголь»:

1) при вскрытии угрожаемых пластов с прогнозом выбросоопасности критерий (1) показал состояние «эффективно» ($B < 5$), и противовыбросные мероприятия не проводились;

2) на выбросоопасных пластах в 3 из 4 случаев величина критерия B составляла менее 5 и вскрытия не сопровождались газодинамическими явлениями;

3) для пласта m_2 -«Тонкий» значение критерия B составило 8,5, а вскрытие его сопровождалось обрушением незначительной нависающей части угольного массива, из-за нарушения технологии гидровоздействия на угольный пласт через породную пробку менее 3 м.

В целом результаты приемочных испытаний свидетельствуют о возможности применения критерия B для оценки эффективности противовыбросных мероприятий при вскрытии склонных к газодинамическим явлениям крутонаклонных угольных пластов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СОУ 100.1.00174088.011–2005. Киев. 2005. – 224 с. Правила ведения горных работ на пластах, склонных к газодинамическим явлениям.
2. ДНАОП 1.1.30–1.XX.04. Киев. 2004. – 195 с. Безопасное ведение работ на пластах, склонных к газодинамическим явлениям.
3. КД 12.10.05.01–99. Донецк. 1999. – 23 с. Прогноз выбросоопасности при вскрытии крутых и крутонаклонных угольных пластов.
4. Стариков, Г.П. Оценка эффективности мероприятий по предотвращению внезапных выбросов угля и газа при вскрытии крутых угольных пластов. /Г.П. Стариков, В.В. Завражин, И.Е. Кольчик, Д.В. Мельников, Я.В. Шажко, А.В. Кравченко // Материалы междунар. научн.-практ. конф.: «Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках». – Алушта, 2013. – С. 307-310.
5. Стариков, Г.П. Оценка эффективности противовыбросных мероприятий при вскрытии крутонаклонных угольных пластов. /Г.П. Стариков, В.В. Завражин, Я.В. Шажко, С.Е. Дегтярь, Ш.В. Мамлеев // Геотехническая механика: Днепропетровск. – 2012. – Вып. 105. – С. 64 – 68.
6. Шажко, Я.В. Экспресс-метод определения давления и количества метана в угольных пластах. // Физико-технические проблемы горного производства. - Донецк, 2011.- Вып. 14. – С. 60-67.

REFERENCES

1. *SOU 100.1.00174088.011-2005: Pravila vedeniya gornikh robot na plastakh, skljnnskikh k samovozgoraniyu* [SBU 100.1.00174088.011-2005 Rules of conduct of mountain works on the layers inclined to the ga--dynamic phenomena] (2005), Kiev, UA.
 2. *DNAOP 1.1.30-1.XX.04: Bezopasnoye vedeniye robot na plastakh, sklonnikh k gazodinamicheskim yavleniyam* [DNAOP 1.1.30-1.XX.04:The safe conduct of work on the layers are prone to gas-dynamic phenomena] (2004), Kiev, UA..
 3. *KD 12.10.05.01-99: Prognoz vybrosoopasnosti pri vskpytii krutykh I krutonaklonnykh ugolnykh plastov* [KD 12.10.05.01-99 Forecast outburst at autopsy and steep steeply inclined coal seams] (1999), Donetsk, UA.
 4. Starikov G.P., Zavrazhin V.V., Kolchik I.E., Shazhko Y.V., Melnikov D.V. and Kravchenko A.V. (2013) «Evaluating the effectiveness of measures to prevent sudden coal and gas at the opening of steep coal seams», *Deformirovaniye i razrusheniye materialov s defektami i dinamicheskiye yavleniya v gornikh porodakh i vyrabotkakh* [Deformation and fracture of materials with defects and dynamic phenomena in rocks and mines], Alushta, UA, pp. 307-310.
 5. Starikov G.P., Zavrazhin V.V., Shazhko Y.V., Degtar S.E. and Mamleyev S.V. (2012), «Evaluating the effectiveness of outburst-prevention measures at opening steeply inclined coal seams», *Geo-Technical Mechanics*, no.105, pp.64-68.
 6. Shazhko Y.V. (2011) «Express method for determining methane content and pressure in coal seams», *Physical and technical problems of mining*, no. 14, pp. 60-67.
-

Об авторах

Завражин Вячеслав Вячеславович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник в отделе прогноза и борьбы с газодинамическими явлениями в шахтах, Институт физики горных процессов Национальной академии наук Украины (ИФГП НАН Украины), Днепропетровск, Украина. zv71@mail.ru

Шажко Ярослав Витальевич, кандидат технических наук, младший научный сотрудник в отделе прогноза и борьбы с газодинамическими явлениями в шахтах, Институт физики горных процессов Национальной академии наук Украины (ИФГП НАН Украины). Днепропетровск, Украина. syarilo@mail.ru

Кольчик Иван Евгеньевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник в отделе Прогноза и борьбы с газодинамическими явлениями в шахтах, Институт физики горных процессов Национальной академии наук Украины (ИФГП НАН Украины). Днепропетровск, Украина. kolchiki@ukr.net

Кравченко Александр Викторович, кандидат технических наук, научный сотрудник в отделе Прогноза и борьбы с газодинамическими явлениями в шахтах, Институт физики горных процессов Национальной академии наук Украины (ИФГП НАН Украины). Днепропетровск, Украина. kravchenko-aleksandr3@mail.ru

Ожегова Лариса Дмитриевна, младший научный сотрудник в отделе физики угля и горных пород, Институт физики горных процессов Национальной академии наук Украины (ИФГП НАН Украины), Днепропетровск, Украина. larisa_ogegova@mail.ru

Хуанган Нурбол, аспирант, Карагандинский государственный технический университет (КГТУ), Караганда, Казахстан

About the authors

Zavrazhyn Vyacheslav Vyacheslavovich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Researcher, Senior Researcher in Department of projection and control of gas dynamic phenomena in mines, Institute of Physics of Mining Processes under the National Academy of Science of Ukraine (IFMP, NASU). Dnepropetrovsk, Ukraine, zv71@mail.ru

Shazhko Yaroslav Vitalievich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Junior Researcher in Department of projection and control of gas dynamic phenomena in mines, Institute of Physics of Mining Processes under the National Academy of Science of Ukraine (IFMP, NASU). Dnepropetrovsk, Ukraine, syarilo@mail.ru

Kolchik Ivan Evgenievich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Researcher in Department of projection and control of gas dynamic phenomena in mines, Institute of Physics of Mining Processes under the National Academy of Science of Ukraine (IFMP, NASU). Dnepropetrovsk, Ukraine, kolchiki@ukr.net

Kravchenko Aleksandr Viktorovich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Researcher in Department of projection and control of gas dynamic phenomena in mines, Institute of Physics of Mining Processes under the National Academy of Science of Ukraine (IFMP, NASU). Dnepropetrovsk, Ukraine, kravchenko-aleksandr3@mail.ru

Ozhegova Larisa Dmitriyevna, Master of Science, Junior Researcher in Department physics of coal and rock solid, Institute of Physics of Mining Processes under the National Academy of Science of Ukraine (IFMP, NASU). Dnepropetrovsk, Ukraine, larisa_ogegova@mail.ru

Huangan Nurbol, Master of Science, Doctoral student of Karahandinsky state technical university (KSTU), Karaganda, Kazakhstan

Анотація. У роботі обґрунтовані критерій і параметри способу оцінки ефективності противикидних заходів при розтині схильних до ГДЯ крутопохилих вугільних пластів з використанням шахтного вимірювача масопереносу метану у вугіллі.

Наведені результати гірничо- експериментальних робіт і приймальних випробувань при розтині промквершлагами 4 вугільних пластів на шахтах ДП «Держжинськвугілля».

Показано, що критерій оцінки при розтині загрозливих вугільних пластів m_3 - «Товстий» і m_2 - «Тонкий» гор. 710 м ОП «Шахта Торєцька» характеризує їх газодинамічне стан як неопасное ($B < 5$). При розтині викидонебезпечних вугільних пластів m_3 - «Товстий» і m_2 - «Тонкий» гор. 1146 м шахти ім. Ф.Е. Держжинського, величина критерію становило $B = 7,8-8,9$, а після проведення противикидних заходів відповідало $B = 3,6-4,9$ при цьому газодинамічні явища не зафіксовано.

В цілому результати приймальних випробувань свідчать про можливість застосування критерію для оцінки ефективності противикидних заходів при розтині схильних до газодинамічних явищ крутопохилих вугільних пластів.

Ключові слова: розкриття, противикидні, вугільний пласт.

Abstract. Criteria and parameters of a method for estimating efficiency of the outburst-preventing measures at opening of steeply inclined coal layers prone to appearance of gas-dynamic phenomena were specified with the help of a mine meter of methane mass-transportation in the coal.

The paper presents results of experiments and acceptance tests held at crosscut opening of four coal seams in the mines of the State Company “Dzerzhynskugol”.

It is shown that at opening of the risk coal layers of *m3*-«Tolsty» and *m2*-«Tonky», hor. 710 m, in the «Toretskaya Mine» the criterion of estimation characterized the layers' gas-dynamic state as not dangerous ($B < 5$). At opening of prone-to-outburst coal layers of *m3*-«Tolsty» and *m2*-«Tonky», hor. 1146 m, of the F.E. Dzerzhynsky Mine, the criterion was equal to $B = 7,8-8,9$; however, after conducting the outburst-preventing measures it became $B = 3,6-4,9$, and no gas-dynamic phenomena were registered.

On the whole, the results of acceptance tests have confirmed that criterion *B* can be used for estimating efficiency of outburst-preventing measures at opening of steeply inclined coal layers prone to appearance of gas-dynamic phenomena.

Keywords: opening, outburst-preventing, coal layer.

Статья поступила в редакцию 21.07.2015

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук К.К. Софийским