УДК 622.411.33

Неравномерность газовыделения из подрабатываемых угольных пластов и пород

На основании теоретических исследований и обработки экспериментальных данных доказана возможность применения в практических целях наиболее распространенных двух способов определения коэффициентов неравномерности для оценки колебания газовыделения, что позволило сделать выводы, имеющие научную новизну.

Ключевые слова: динамика, неравномерность, газовыделение, десорбция, добыча угля, выемочный участок.

Контактная информация: gplusr@outlook.com

Е. Н. ХАРИН,
аспирант
(Луганский областной совет)

Н. И. АНТОЩЕНКО,
доктор техн. наук
(Донбасский ГТУ)

Р. Л. ГАСЮК,
аспирант
(Донбасский ГТУ)

Неравномерность метановыделения – один из основных факторов, влияющих на состояние безопасности горных работ при отработке газоносных угольных пластов. Научные положения [1], принятые за основу при определении неравномерности газовыделения, были получены на основании результатов трех- и десятисуточных газовых съемок более 40 лет назад. Считалось, что чем выше среднее газовыделение, тем меньше коэффициент неравномерности. Такой подход был обусловлен преимущественным газовыделением из разрабатываемого пласта и его колебаниями под воздействием только технологических процессов по отбойке угля в рабочем пространстве лавы.

Сейчас существенно изменились составляющие газового баланса выемочного участка. Основные источники газовыделения (60 – 90 %) – подработанные угольные пласты и вмещающие породы. Длительность метановыделения из этих источников (несколько месяцев) значительно превышает продолжительность трех- и десятисуточных газовых съемок. Это не позволяет использовать экспериментальные данные прошлых лет и принятые ранее научные положения при рассмотрении вопросов, связанных с газовыделением из выработанных пространств эксплуатируемых и отработанных лав. На неравномерность газовыделения из подрабатываемых пластов и пород, в отличие от газовыделения из разрабатываемого пласта, кроме технологических процессов по отбойке угля в призабойном пространстве лавы непосредственно влияют наличие или отсутствие выработанных пространств ранее отработанных выемочных участков, процессы сдвижения подрабатываемых пород и десорбции газа из источников. По указанным причинам отсутствуют теоретические основы формирования неравномерности газовыделения из подрабатываемых угольных пластов и пород, что свидетельствует об актуальности рассматриваемого вопроса.

Цель работы – доказать возможность применения на практике двух способов определения коэффициентов неравномерности газовыделения из подрабатываемых пластов и при управлении кровлей полным обрушением.

Идея заключается в использовании параметров кривой динамики газовыделения на отдельных стадиях развития очистных работ выемочного участка, на которых существенно изменяется влияние факторов на уровень газовыделения из рассматриваемых источников (рис. 1). По характеру изменения кривой динамики газовыделения отработку выемочного участка можно разделить на три характерные стадии:

$t_{о.к}$ – эксплуатации выемочного участка при отходе очистного забоя от разрезной печи до осадки основной кровли. Характеризуется постепенным увеличением добычи угля и достижением плановых показателей. Параллельно с ростом добычи развиваются процессы сдвижения

пород и десорбции газа из подрабатываемых источников. Увеличение добычи угля до достижения максимума абсолютного газовыделения в этот период – интегральный фактор, определяющий рост газовыделения под влиянием развития процессов сдвижения пород и десорбции газа из подрабатываемых источников;

$t_{ст}$ – эксплуатации выемочного участка при стабильной добыче угля. Добыча определяет средний уровень газовыделения, а его колебания непосредственно зависят от процессов сдвижения подработанных пород и десорбции газа из источников;

$t_о$ – сокращения добычи угля перед остановкой очистного забоя. Наблюдается непрерывное снижение уровня метановыделения во времени до его полного прекращения.

Для подтверждения изложенных положений проанализировали параметры эксплуатации выемочных участков на шахтах им. А. Ф. Засядько (по данным [2]) и им. газеты «Известия» (табл.1), а также суммарное газовыделение в выработки и дегазационные системы. Уникальность данных заключается в том, что они содержат сведения о метановыделении за весь период отработки участков, а для шахты им. газеты «Известия» – за время отработки крыла шахтного поля.

На стадиях $t_{о.к}$ и $t_о$ получены высокие корреляционные зависимости от уровня добычи угля ($I = f(A)$), что подтверждается существенными значениями коэффициентов корреляции почти во всех случаях (r = 0,72 … 0,88). Только в одном случае при эксплуатации выемочного участка на стадии $t_о$ в частично надработанной пластом l_4 зоне с оставлением целиков угля r = 0,55.

На стадии стабильной работы выемочных участков газовыделение статистически почти не зависело от добычи угля (r = 0,16…0,49), что указывает на то, что изменение газовыделения в большей степени происходило под влиянием других факторов, а уровень добычи колебался в незначительных пределах (8,5 – 33, 6 %).

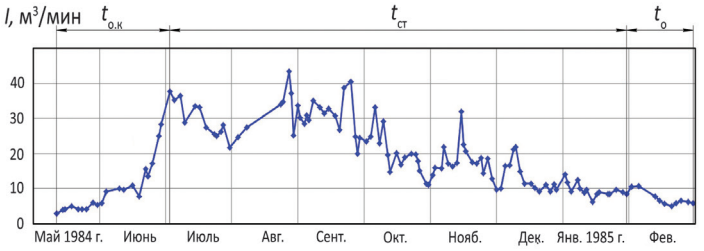

Рис. 1. Изменение динамики газовыделения I за весь период отработки 8-й западной лавы пласта $l_2^в$ шахтой им. газеты «Известия» ГП «Донбассантрацит».

Результаты анализа наблюдений показали, что изучение неравномерности газовыделения имеет научное и практическое значение на стадии стабильной эксплуатации выемочных участков $t_{ст}$, так как уровень метановыделения в этот период обусловлен плановой (стабильной) добычей угля, а процессы колебания можно рассматривать как случайные и стационарные.

В настоящее время колебания газовыделения оценивают коэффициентами неравномерности $K_н^1$ и $K_н^2$, определенными разными способами. Согласно первому способу $K_н^1$ рассматривается как отношение максимального газовыделения I_{max} к его среднему значению $\bar{I}$ за период $t_{ст}$. По второму предполагается соответствие закону нормального распределения, и в расчетах используется правило трех сигм. Коэффициенты неравномерности в период стабильной эксплуатации выемочных участков на шахте им. газеты «Известия» приведены в табл. 2.

По своей сути первый способ отражает фактическую неравномерность газовыделения, а второй – теоретическую. Учитывая, что методикой [3] предусмотрено уменьшение неравномерности с увеличением среднего

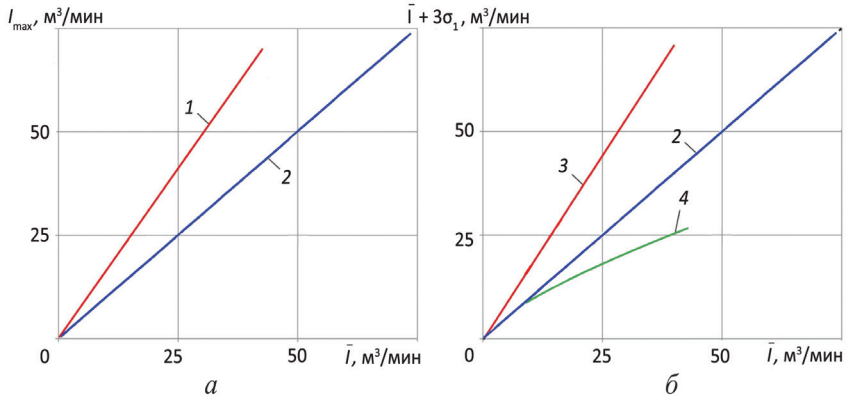

Рис. 2. Зависимость фактического максимального I_{max} (*а*) и теоретического $\bar{I} + 3\sigma_I$ (*б*) газовыделения от среднего его значения $\bar{I}$ из подрабатываемых пластов и пород на стадии стабильной эксплуатации выемочных участков шахтой им. газеты «Известия»: *1* и *3* – зависимости I_{max} и $\bar{I} + 3\sigma_I$ от $\bar{I}$; *2* – биссектриса координатной сетки; *4* – степенная зависимость $3\sigma_I$ от $\bar{I}$.

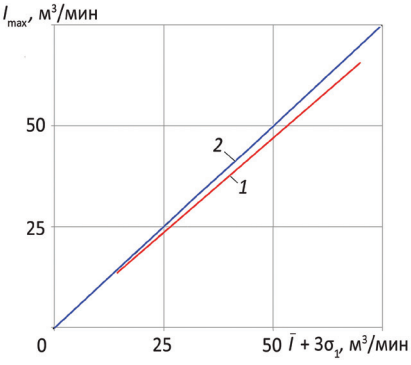

Рис. 3. Зависимость фактического максимального газовыделения I_{max} от его теоретического значения $\bar{I} + 3\sigma_I$: *1* – зависимость I_{max} от $\bar{I} + 3\sigma_I$; *2* – биссектриса координатной сетки.

Таблица 1

Период наблюдений	Кол-во обработанных данных	Коэффициент корреляции r зависимости $I = f(A)$	Средняя добыча угля $\bar{A}$, т/сут	Среднеквадратическое отклонение добычи σ_A, т/сут	σ_A/A	Среднее газовыделение $\bar{I}$, м^3/сут	Стадии эксплуатации выемочного участка
Шахта им. А. Ф. Засядько, 16-я восточная лава пласта m_3 [2]							
Октябрь 2001 г. – март 2002 г.	41	0,82	2051	374	0,182	55,9	$t_{о.к}$
Апрель 2002 г. – ноябрь 2003 г.	350	0,22	2548	217	0,085	81,8	$t_{ст}$
Декабрь 2003 г. – июнь 2004 г.	185	0,87	1501	858	0,572	52,2	$t_о$
Шахта им. газеты «Известия», 6-я западная лава пласта $l_2^в$							
Сентябрь 1983 г. – январь 1984 г.	40	0,33	965	230	0,238	42,8	$t_{ст}$
Февраль 1984 г. – 15 апреля 1984 г.	22	0,20	1087	275	0,253	25,1	$t_{ст}$ в надработанной пластом l_4 зоне
16 апреля 1984 г. – июнь 1984 г.	24	0,55	753	350	0,465	13,8	$t_о$ в надработанной пластом l_4 зоне
Шахта им. газеты «Известия», 7-я западная лава пласта $l_2^в$							
Октябрь 1983 г. – апрель 1984 г.	62	0,32	959	259	0,272	15,9	$t_{ст}$ в надработанной пластом l_4 зоне
Шахта им. газеты «Известия», 8-я западная лава пласта $l_2^в$							
Май 1984 г. – июнь 1984 г.	21	0,88	452	250	0,553	9,9	$t_{о.к}$
Июль 1984 г. – сентябрь 1984 г.	35	0,16	1247	269	0,216	30,8	$t_{ст}$
Октябрь 1984 г. – январь 1985 г.	61	0,35	983	275	0,280	15,4	$t_{ст}$ в надработанной пластом l_4 зоне
Февраль 1985 г.	11	0,73	234	222	0,949	7,1	$t_о$в надработанной пластом l_4 зоне
Шахта им. газеты «Известия», 9-я западная лава пласта $l_2^в$							
Май 1985 г. – июнь 1985 г.	12	0,72	544	338	0,621	4,0	$t_{о.к}$
7 июня 1985 г. – 23 августа 1985 г.	25	0,49	879	295	0,336	14,6	$t_{ст}$
24 августа 1985 г. – июнь 1986 г.	66	0,73	222	212	0,955	6,6	$t_о$

газовыделения $\bar{I}$, то для проверки этого положения изучили зависимости фактического максимального I_{max} и теоретического $\bar{I} + 3\sigma$ от $\bar{I}$ (рис. 2):

$$I_{max} = 1{,}66\bar{I}, \quad r = 0{,}80; \qquad (1)$$

$$I_{max} = \bar{I}; \qquad (2)$$

$$\bar{I} + 3\sigma = 1{,}77\bar{I}, \quad r = 0{,}82; \qquad (3)$$

$$3\sigma = 1{,}76(\bar{I})^{0{,}72}, \quad R = 0{,}80, \qquad (4)$$

где r и R – коэффициент корреляции и корреляционное отношение.

В обоих случаях получены прямолинейные зависимости (1) и (3) (рис. 2, кривые *1, 3*), которые почти не отличаются между собой коэффициентами корреляции (соответственно 0,80 и 0,82). Это свидетельствует о том, что коэффициент неравномерности при изменении среднего газовыделения остается практически постоянным. Нелинейная зависимость (4) (рис. 2, кривая *4*) значений 3σ от средних значений $\bar{I}$ указывает на возможность уменьшения $K_н^2$ при достаточно большом газовыделении ($\bar{I}$ >50 м^3/мин).

Для установления соответствия фактического максимального газовыделения I_{max} его теоретическому значению $\bar{I} + 3\sigma$ (при условии выполнения нормального закона распределения) рассмотрели корреляционные зависимости между ними (рис. 3):

$$I_{max} = 0{,}94\,(\bar{I} + 3\sigma), \; r = 0{,}96; \qquad (5)$$

Таблица 2

Период наблюдений	Газовыделение в выработки $I_в$ и суммарное по участку $I_с$	Фактическое газовыделение, м^3/мин		Среднеквадратическое отклонение от среднего газовыделения σ_I, м^3/мин	$3\sigma_I$	$\bar{I} + 3\sigma_I$	Коэффициенты неравномерности	
		среднее $\bar{I}$	максимальное I_{max}				$K_н^1 = I_{max}/I$	$K_н^2 = (\bar{I} + 3\sigma_I)/I$
6-я западная лава пласта $l_2^в$								
Сентябрь 1983 г. – январь 1984 г.*	$I_в$	27,4	44,8	7,9	23,7	51,1	1,64	1,86
	$I_с$	42,8	63,3	7,5	22,5	65,3	1,48	1,53
Февраль 1984 г. – 15 апреля 1984 г.**	$I_в$	15,9	24,5	4,0	12,0	27,9	1,54	1,75
	$I_с$	25,1	38,5	7,2	21,6	46,7	1,53	1,86
7-я западная лава пласта $l_2^в$								
Октябрь 1983 г. – апрель 1984 г. *	$I_в$	9,0	14,3	2,5	7,5	16,5	1,59	1,83
	$I_с$	15,9	33,9	5,2	15,6	31,5	2,13	1,98
8-я западная лава пласта $l_2^в$								
Июль 1984 г. – сентябрь 1984 г. *	$I_в$	18,1	33,5	4,9	14,7	32,8	1,85	1,81
	$I_с$	30,8	43,5	5,5	16,5	47,3	1,41	1,54
Октябрь 1984 г. – январь 1985 г. **	$I_в$	10,6	25,5	4,5	13,5	24,1	2,41	2,27
	$I_с$	15,4	33,1	6,0	18	33,4	2,15	2,17
9-я западная лава пласта $l_2^в$								
7 июня 1985 г. – 23 августа 1985 г.*	$I_в$	10,4	15,1	2,1	6,3	16,7	1,45	1,61
	$I_с$	14,6	22,9	3,3	9,9	24,5	1,57	1,68

* Участок эксплуатируется в зоне, ненадработанной пластом l_4. ** То же, в зоне, надработанной пластом l_4.

$$I_{max} = 0{,}94\,(\bar{I} + 3\sigma). \qquad (6)$$

Зависимость (5) характеризуется коэффициентом $r = 0{,}96$. Надежность полученного уравнения и эмпирического коэффициента регрессии подтверждается критерием Фишера при уровне значимости 0,05. Относительная ошибка аппроксимации составила 6,95 %, что указывает на высокую точность полученной зависимости. Значение коэффициента регрессии зависимости (5) меньше единицы и свидетельствует о том, что теоретическое максимальное газовыделение незначительно (менее, чем на 6 %) превышает фактическое.

Выводы. На основании разработанных теоретических положений впервые определена неравномерность метановыделения из подработанных угольных пластов и газоносных пород, что позволило сделать важные выводы, имеющие научную новизну.

На стадии стабильной эксплуатации выемочного участка добыча угля определяет средний уровень газовыделения, а его колебания зависят от процессов сдвижения подрабатываемых пород и десорбции метана из источников. В одинаковых горно-геологических условиях максимальное газовыделение из подрабатывемых пластов и пород увеличивается прямо пропорционально его среднему значению, что обусловливает практически неизменное (постоянное) значение коэффициента неравномерности. При высоком среднем газовыделении ($\bar{I}$ >50 м^3/мин) возможно некоторое уменьшение коэффициента неравномерности.

Применяемые в настоящее время два способа определения коэффициента неравномерности газовыделения приводят примерно к одинаковым результатам. Учитывая близость значений фактического и теоретического максимального газовыделения, можно предположить, что метановыделение из подработанных пластов и пород соответствует нормальному закону распределения на стадии стабильной эксплуатации выемочного участка.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Касимов О. И.* О точности определения фактического газовыделения на выемочных участках / О. И. Касимов, Р. Э. Капиев // Вопросы безопасности в угольных шахтах: тр. МакНИИ. – М.: Недра, 1969. – Т. 20. – С. 19 – 32.

2. *Бокий Б. В.* Перспектива извлечения метана из техногенных скоплений / Б. В. Бокий, О. И. Касимов // Уголь Украины. – 2005. – № 5. – С. 17 – 21.

3. *Руководство* по проектированию вентиляции угольных шахт / [под ред. С. В. Янко]. – К.: Основа, 1994. – 311 с.