

В.И. Бондаренко, Е.Н. Харин, Н.И. Антощенко, Р.Л. Гасюк
**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НЕРАВНОМЕРНОСТИ
 ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯ ИЗ ПОДРАБАТЫВАЕМЫХ
 УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ И ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД**

На основании зависимости кривой динамики газовыделения от степени развития очистных работ, процессов сдвигения подработанных пород и десорбции метана из источников разработаны принципиально новые теоретические положения расчета коэффициента неравномерности, соответствия которых проверены в разных горно-геологических условиях эксплуатации выемочных участков.

**ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ НЕРІВНОМІРНОСТІ ГАЗОВИДІЛЕННЯ З ПІДРОБЛЕНИХ
 ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ І ВМІЩУЮЧИХ ПОРІД**

На підставі залежності кривої динаміки газовиділення від ступеня розвитку очисних робіт, процесів зсування підроблених порід і десорбції метану з джерел розроблені принципово нові теоретичні положення розрахунку коефіцієнта нерівномірності, відповідності яких перевірені в різних гірничо-геологічних умовах експлуатації виїмкових діляниць.

**THEORETICAL BASIS OF UNEVEN OF GAS EMISSION FROM UNDERWORKED COAL
 SEAMS AND HOST ROCKS**

Based on the curve depending the dynamics of gas evolution on the extent of mining operations, processes displacement underworked rocks and desorption of methane from sources developed a fundamentally new theoretical position of calculation of coefficient of unevenness and conformity are conducted in different geological conditions of extraction areas.

Неравномерность метановыделения является одним из основных факторов, влияющих на состояние безопасности горных работ при отработке газоносных угольных пластов. Научные положения, принятые в основу определения неравномерности газовыделения [1], получены на основании обработки результатов газовых съемок более сорока лет назад. Главным фактором, определяющим колебание газовой выделенности, был принят его абсолютный уровень. Считалось, что чем выше среднее газовыделение, тем меньше коэффициент

неравномерности. Такой подход объяснялся преимущественным газовыделением из разрабатываемого пласта и его колебаниями под воздействием только технологических процессов по отбойке угля в рабочем пространстве лавы.

Предполагалось, что стационарность процессов газовыделения обеспечивается постоянством математического ожидания, дисперсии и нормированной корреляционной функции за некоторый отрезок времени. К статистической обработке были привлечены результаты трех и десятисуточ-

ных газовых съемок без учета возможной более длительной продолжительности газовыделения из подрабатываемых сближенных пластов и вмещающих пород. Дополнительными и необходимыми условиями стационарности процесса колебания концентрации метана в исходящих струях воздуха лав и участков считались установившийся уровень газообильности участка, стабильность технологии в очистном забое, постоянство вентиляционного режима и оседание пород кровли в выработанном пространстве. При этом отмечалось, что обрушения пород носят кратковременный характер и они происходят сравнительно редко. Их влияние на газовыделение по указанной причине якобы происходило непродолжительное время. Такой вывод противоречит экспериментальным данным о длительности газовыделения из подработанных пластов и пород. Продолжительность метановыделения из указанных источников определяется месяцами и оно не может относиться к кратковременным.

При анализе условий проведения экспериментов и результатов их обработки, полученных в прошлые годы, были установлены несоответствия, связанные с общими подходами к определению неравномерности газовыделения:

– при определении необходимых условий стационарности процесса газовыделения на отдельном выемочном участке (уровень метанообильности, стабильность технологии, постоянство вентиляционного режима и т.д.) к обработке принимались результаты газовых съемок, полученных на разных участках с отличающимися технологиями. Невозможно обеспечить стационарность процесса газовыделения одновременно на нескольких выемочных участках, так как в общем случае они будут находиться на разных стадиях развития очистных работ;

– сделан вывод о зависимости закона распределения от абсолютного газовыделения, а к совместной обработке принимались экспериментальные данные, полученные в условиях выемочных участков с раз-

ным уровнем метановыделения;

– в качестве основных факторов, влияющих на неравномерность газовыделения, отмечались процессы сдвижения пород, но они не учитывались при определении возможных колебаний метановыделения.

Проведенный анализ свидетельствует о недостаточной изученности неравномерности газовыделения из подрабатываемых угольных пластов и пород. Принятые 30-50 лет назад научные положения относительно законов распределения метановыделения при отработке газоносных угольных пластов не учитывают произошедшие за этот период изменения газового баланса в шахтах Донбасса. Основными источниками газовыделения (60-90%) при эксплуатации выемочных участков являются выработанные пространства. До настоящего времени параметры газовыделения из выработанных пространств, как случайного процесса, практически не изучались. По этой причине отсутствуют теоретические основы формирования неравномерности газовыделения из подрабатываемых угольных пластов и вмещающих пород, что указывает на актуальность рассматриваемого вопроса.

Идея состоит в рассмотрении факторов, определяющих динамику газовыделения из подрабатываемого массива на стадиях развития, стабильной эксплуатации и затухания очистных работ на выемочном участке. Методикой исследования предусмотрено изучение имеющихся литературных данных и установление факторов, определяющих неравномерность газовыделения из подработанных пластов и пород. На основе предварительного анализа разработаны научные положения, принятые для расчета коэффициента неравномерности метановыделения. Соответствие этих положений реальным условиям проверялось на основании экспериментальных данных о динамике метановыделения в период времени от начала эксплуатации выемочных участков до прекращения очистных работ. Согласно экспериментальным и теоретиче-

ским исследованиям к основным влияющим факторам относятся степень развития очистных работ, процессы сдвижения подработанных пород и десорбции газа из подработанных угольных пластов и вмещающих пород.

Целью настоящей работы является разработать общие научно-обоснованные положения определения неравномерности газовыделения из указанных источников при эксплуатации выемочного участка на разных стадиях развития очистных работ.

Учитывая циклический характер проявления горного давления в выработанном пространстве и научные положения, принятые в основу физико-математической модели [2], кривую динамики газовыделения из подрабатываемых угольных пластов и пород представили графиком (рис. 1).

На основании приведенной схемы изменения динамики газовыделения из подработанных угольных пластов и вмещающих пород можно выделить три характерные стадии ($t_{о.к.}$, $t_{см}$, t_0). Эти стадии отличаются между собой как видом кривой динамики метановыделения, так и процессами разной интенсивности сдвижения подработанных пород и десорбции газа из источников.

Для конкретных горно-геологических условий период времени (t_n) между началом очистных работ и газовыделением, кроме удаленности сближенных угольных пластов и газоносных породных слоев от разрабатываемого пласта, определяется длиной лавы (L_l), скоростью подвигания очистного забоя ($V_{оч}$) и прочностными свойствами массива (f). Чем выше скорость подвигания очистного забоя, тем интенсивнее происходит процесс сдвижения подработанных пород и, в следствии этого, следует ожидать сокращения времени t_n и расстояния между очистным забоем и разрезной печью (L_n), при которых начинается газовыделение из подработанных пластов и пород.

Увеличение газовыделения в период времени t_p^1 свидетельствует о том, что при удалении очистного забоя от разрезной печи в зону нарушения исходного природного состояния подработанных угольных пластов и пород вовлекаются новые их объемы. Процессы сдвижения пород в этот период распространяются как в направлении земной поверхности, так и в сторону подвигания очистного забоя. Достижение первого (I) абсолютного максимума газовыделения (I_{max}^a) свидетельствует, что при развитии очистных работ в сферу их влияния попали максимальные объемы угольных пластов и газоносных слоев породы после осадки основной кровли.

Зная отход очистного забоя от разрезной печи (L_{max}), при котором достигается первый абсолютный максимум газовыделения (I) и рекомендуемые нормативными документами углы полных сдвижений (ψ), можно рассчитать предельное расстояние от разрабатываемого пласта (H_p), определяющее размер зоны дегазации в подработанном массиве в направлении к земной поверхности [2].

Величина первого абсолютного максимума газовыделения (I_{max}^a) характеризует возможный уровень максимального метановыделения при дальнейшей эксплуатации выемочного участка. На практике имеются случаи превышения последующими максимумами газовыделения первого, вызванного первичной осадкой основной кровли. Наиболее часто это связано с изменением интенсивности добычи угля, когда скорость подвигания очистного забоя при достижении последующих максимумов газовыделения существенно (возможно в несколько раз) превышает ее значения при формировании первого максимума газовыделения. Такие отличия также могут быть вызваны увеличением газоносности сближенных угольных пластов и вмещающих пород.

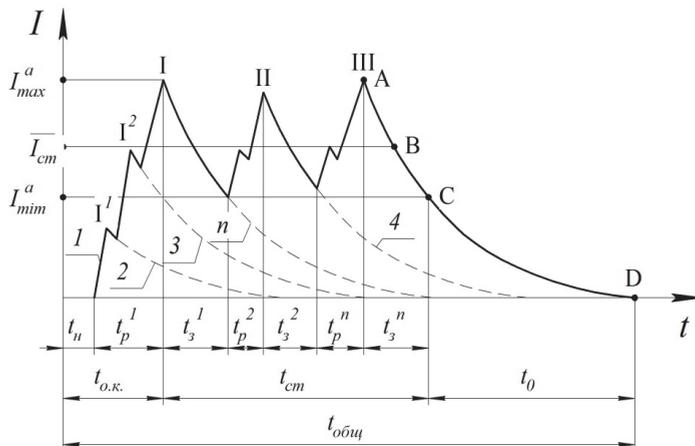


Рис. 1. Схема изменения динамики газовой выработки (I) из подработанных угольных пластов и пород во времени (t) при отработке выемочного участка: 1 – кривая динамики газовой выработки из подработываемых пластов и пород; 2, 3... n – кривые десорбции метана из источников, последовательно попадающие в зону разгрузки (дегазации) при удалении очистного забоя от разрезной печи и первичной осадки основной кровли; 4 – кривая десорбции при последующих осадках основной кровли; I, II, III – положение абсолютных максимумов газовой выработки соответственно при первичной и последующих осадках основной кровли; I_{max}^a – абсолютный максимум газовой выработки при первичной осадке основной кровли; I_{min}^a – абсолютный минимум газовой выработки при задержке последующих осадках основной кровли; \bar{I}_{cm} – среднее газовой выделение при стабильной эксплуатации выемочного участка; I^1, I^2 – положение локальных максимумов метановыделения из источников (угольных пластов и газоносных пород), последовательно попадающих в зону дегазации при удалении очистного забоя от разрезной печи; t_n – период времени между началом очистных работ и метановыделением из наиболее близкорасположенного источника; t_p^1, t_p^2, t_p^n – периоды роста газовой выработки до достижения их абсолютных максимумов соответственно при первичной и последующих осадках основной кровли; t_3^1, t_3^2, t_3^n – время затухания метановыделения между абсолютными максимумами и последующими периодами роста газовой выработки; $t_{o.k.}$ – период достижения первого абсолютного максимума газовой выработки, определяемый степенью развития очистных работ и процессами сдвижения пород до осадки основной кровли и десорбции метана из источников; t_{cm} – период стабильной работы выемочного участка; t_0 – период десорбции метана из источников после достижения последнего абсолютного максимума газовой выработки и остановки очистного забоя; $t_{общ}$ – общая длительность газовой выработки при эксплуатации выемочного участка

Длительность первой стадии достижения абсолютного максимума газовой выработки до первичной осадки основной кровли ($t_{o.k.}$) в одних горно-геологических и горнотехнических условиях зависит от скорости подвигания очистного забоя ($V_{оч}$). Чем больше $V_{оч}$, тем выше абсолютное газовой выделение, в том числе и максимальное.

Расстояние L_{max}^a практически не зависит от $V_{оч}$, а определяется, в основном, размерами очистной выработки (выработанного пространства) при удалении очистного забоя от разрезной печи [2].

Очевидно нет практического смысла определять коэффициент неравномерности газовой выработки на рассматриваемой стадии

развития очистных работ, так как она заканчивается достижением первого абсолютного максимума газовой выделенности (I_{max}^a). Учитывая, что газовой выделенности изменяется от нуля до I_{max}^a , то среднее значение ($\bar{I}_{o.к.}$) на стадии $t_{o.к.}$ ориентировочно будет равно половине I_{max}^a . Исходя из логики обеспечения безопасных условий отработки газоносного угольного пласта при разработке мероприятий необходимо ориентироваться на значение I_{max}^a .

Снижение газовой выделенности после достижения первого абсолютного максимума свидетельствует, что подвигание очистного забоя на протяжении некоторого периода времени (t_3^1) не приводит к появлению новых объемов угля сближенных пластов и газоносных слоев пород в зоне возможной их дегазации. Этот период снижения метановой выделенности характеризуется только процессами десорбции, вызванными сдвижением пород при развитии очистных работ на предыдущей стадии. Дальнейшее подвигание очистного забоя приводит к появлению дополнительных объемов угля сближенных пластов и газоносных пород, попадающих в зону газовой выделенности из указанных источников. За счет незакончившихся процессов десорбции газа из угля и пород, разгруженных от горного давления в предыдущие периоды их подработки и вовлечения в период времени t_p^2 дополнительных объемов угля и пород в зону метановой выделенности, происходит рост их суммарного газовой выделенности и достижения второго (II) абсолютного максимума газовой выделенности.

Дальнейшее изменение газового баланса связано, в основном, только с процессами сдвижения подработанных пород, обусловленных подвиганием очистного забоя. Формирование динамики газовой выделенности на этой стадии развития очистных работ несколько отличается от начальных периодов ($t_{o.к.}$, t_p^1 , t_3^1 , t_p^2) эксплуатации выемочно-

го участка, связанных с процессами сдвижения пород при удалении очистного забоя от разрезной печи. К моменту достижения второго абсолютного максимума (II) десорбция метана из объемов угля сближенных пластов и пород, определявшая формирование первого максимума газовой выделенности, существенно снижается. В большей степени это обусловлено не истощением источников газовой выделенности, а закрытием каналов (трещин) в подработанном массиве под собственным весом пород. По абсолютной величине второй максимум газовой выделенности, как правило, несколько меньше первого. Это вызвано, в первую очередь, уменьшением объемов угля и породы, попадающих в зону газоотдачи непосредственно над движущимся очистным забоем по сравнению с их объемами при удалении лавы от разрезной печи до первичной осадки основной кровли.

Подвигание очистного забоя в промежутке времени между достижением очередного абсолютного максимума газовой выделенности и его снижением до начала нового роста метановой выделенности характеризует склонность пород к их зависанию над движущимся очистным забоем. Это явление приводит к задержке попадания новых объемов подработанных источников (угля и пород) в зону, в которой имеются условия для десорбции газа. После необходимой степени разгрузки от горного давления указанных объемов угля и породы начинается процесс метановой выделенности из них, что приводит к росту общего газовой выделенности и достижению очередного максимума газовой выделенности. Склонность подрабатываемых пород к зависанию и интенсивность ведения очистных работ определяют неравномерность газовой выделенности из рассматриваемых источников на стадии (t_{cm}) стабильной эксплуатации выемочного участка. В совокупности эти два фактора в конкретных горно-геологических условиях определяют значения I_{max}^a , I_{min}^a и \bar{I}_{cm} (рис. 1). Среднее газовой выделенности \bar{I}_{cm} , исходя из схемы

изменения динамики метановыделения, будет несколько выше по сравнению со средним газовыделением ($\bar{I}_{o.k.}$) на стадии $t_{o.k.}$.

$$\bar{I}_{cm} \approx \frac{I_{max}^a + I_{min}^a}{2}; \quad (1)$$

$$\bar{I}_{o.k.} \approx \frac{I_{max}^a + 0}{2}. \quad (2)$$

В одном из вариантов определения коэффициента неравномерности (K_n) рассматривают отношение максимального газовыделения к его среднему значению. В этом случае для стадий $t_{o.k.}$ и t_{cm} , с учетом уравнений (1, 2), коэффициенты неравномерности ($K_n^{o.k.}$ и K_n^{cm}) можно представить уравнениями:

$$K_n^{o.k.} \approx \frac{2 \cdot I_{max}^a}{I_{max}^a} = 2; \quad (3)$$

$$K_n^{cm} \approx \frac{2 \cdot I_{max}^a}{I_{max}^a + I_{min}^a}. \quad (4)$$

Фиксированное значение коэффициента неравномерности газовыделения ($K_n^{o.k.} \approx 2$) на стадии $t_{o.k.}$ подтверждает отсутствие необходимости его определения для конкретных горно-геологических условий. На стадии стабильной эксплуатации выемочного участка (t_{cm}) коэффициент неравномерности (K_n^{cm}), исходя из уравнения (4), должен быть менее двух.

Третья стадия (t_0) изменения динамики газовыделения характеризует процессы десорбции метана из источников при остановленном очистном забое. После прекращения работ в крыле шахтного поля по добыче угля наблюдается стабильное снижение газовыделения во времени. Абсолютная величина газовыделения на этой стадии не превышает \bar{I}_{cm} , а тем более I_{max}^a . По этой причине для обеспечения безопасных условий в горных выработках необхо-

димо знать не коэффициент неравномерности, а в большей степени длительность газовыделения после прекращения очистных работ (t_0).

Для проверки принятых научных положений проанализировали показатели работы выемочных участков на разных стадиях их эксплуатации. Экспериментальные данные получены при обработке пласта l_2^6 на четырех выемочных участках шахты им. газеты «Известия» ГП «Донбассантрацит». К анализу также привлечены данные, полученные при обработке пласта m_3 шахтой им. А.Ф. Засядько [3]. Результаты статистической обработки приведены в таблице 1. Они подтверждают, что на стадиях $t_{o.k.}$ и t_0 эксплуатации выемочных участков нет оснований определять коэффициенты неравномерности по причине высокой корреляционной зависимости газовыделения от нагрузки на очистные забои. На стадии $t_{o.k.}$ коэффициенты корреляции находились в диапазоне $0,72 \div 0,82$, а на стадии t_0 они составляли $0,55 \div 0,87$. Минимальный коэффициент корреляции ($r = 0,55$) получен в условиях частичной надработки пласта l_2^6 пластом l_4 в зоне влияния оставленных целиков угля, что несомненно повлияло на снижение тесноты связи между рассматриваемыми параметрами. На стадии $t_{o.k.}$, до достижения первого абсолютного максимума, интенсивность роста газовыделения и его уровень определяются также развитием процессов сдвигания подработанных пород и десорбции метана из источников. Влияние этих процессов усиливается по мере удаления очистного забоя от разрезной печи. В этот период параллельно с развитием процессов сдвигания подработанных пород и десорбции газа из источников происходит последовательное увеличение добычи угля, вызванное постепенным ее выходом на плановые показатели эксплуатации выемочного участка. По указанным причинам влияние

увеличения добычи угля совпадает с влиянием развивающихся процессов сдвижения пород и десорбции метана из источников. Это определяет высокую корреляционную зависимость газовыделения от уровня добычи угля на рассматриваемой стадии $t_{o.k.}$. Аналогичное совместное влияние оказывают уменьшение добычи угля на стадии перед остановкой очистного забоя и снижение интенсивности процессов сдвижения подработанных пород и десорбции газа из источников. В этих случаях уровень добычи угля является интегральным параметром, отражающим совместное изменение влияния указанных процессов, что подтверждается высокой теснотой корреляционных зависимостей.

После первичной осадки основной кровли и достижения плановых нагрузок на очистной забой, эксплуатация выемочного участка переходит в стадию стабильной его работы (t_{cm}). О стабильности добычи угля свидетельствуют уменьшение в несколько раз относительного стандартного отклонения добычи угля ($\frac{\sigma_A}{A}$) по сравнению со стадиями $t_{o.k.}$ и t_0 (см. табл. 1).

Отличительной особенностью стадии (t_{cm}) является изменение влияния добычи угля на динамику газовыделения из подрабатываемых источников. Уровень добычи угля определяет, в большей степени, среднее газовыделение, а его колебания обусловлены неравномерностью процессов сдвижения подработанных пород и десорбции газа из источников. Подтверждением этого положения является практическое отсутствие корреляционной зависимости ($r = 0,16 \div 0,49$) между добычей угля и газовыделением на стадии t_{cm} (см. табл. 1).

Учитывая изложенные теоретические положения и результаты предварительного анализа параметров эксплуатации выемочных участков, произвели расчет для стадии t_{cm} коэффициентов неравномерности газовыделения двумя наиболее распростра-

ненными способами (K_n^1 и K_n^2).

В одном случае K_n^1 определяется как отношение фактического максимального газовыделения (I_{max}^a) к его среднему значению (\bar{I}_{cm}) на стадии t_{cm} . Во втором K_n^2 рассчитывался, в предположении соответствия закону нормального распределения, по правилу «трех сигм» (табл. 2).

Независимо от рассматриваемого объекта газовыделения (шахта, участок, горная выработка, дегазационные скважины) значения коэффициентов K_n^1 и K_n^2 , определенные разными способами оказались близкими между собой. Это подтверждается результатами совместной статистической обработки (рис. 2). Экспериментальная прямая (1) расположилась рядом с биссектрисой координатной сетки (2). Значение коэффициента корреляции ($r = 0,92$) свидетельствует практически о функциональной зависимости между рассматриваемыми параметрами. Это свидетельствует о возможности использования каждого из рассмотренных способов определения коэффициента неравномерности в практических расчетах.

Результаты определения коэффициентов неравномерности газовыделения в горные выработки (I_g) подтвердили, что они не могут быть больше двух. Значения K_n^1 находились в диапазонах $1,45 \div 1,85$, а K_n^2 – $1,61 \div 1,86$. Исключение составили результаты, полученные на участке 8-й западной лавы пласта l_2^g шахты им. Газеты «Известия» ($K_n^1 = 2,41$; $K_n^2 = 2,27$), что объясняется частичной надработкой пластом l_4 и наличием оставленных целиков угля на этом пласте.

ЗАВИСИМОСТЬ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯ (I) ОТ НАГРУЗКИ НА ОЧИСТНОЙ
ЗАБОЙ (A) НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЫЕМОЧНЫХ УЧАСТКОВ

Таблица 1

Период наблюдений	Кол-во обработанных данных n , шт.	Коэффициент корреляции зависимости $I = \varphi(A)$, r	Средняя добыча, \bar{A} , т/сут	Средне-квадратическое отклонение добычи σ_A , т/сут	$\frac{\sigma_A}{\bar{A}}$	Среднее газовыделение, \bar{I} , м ³ /сут	Стадии эксплуатации выемочного участка
шахта им. А.Ф. Засядько, 16-я восточная лава пласта m_3 согласно данным [3]							
10.2001 г. – 03.2002 г.	41	0,82	2051	374	0,182	55,9	$t_{о.к.}$
04.2002 г. – 11.2003 г.	350	0,22	2548	217	0,085	81,8	$t_{см}$
12.2003 г. – 06.2004 г.	185	0,87	1501	858	0,572	52,2	t_0
шахта им. газеты "Известия", 6-я западная лава пласта l_2^6							
09.1983 г. – 01.1984 г.	40	0,33	965	230	0,238	42,8	$t_{см}$
02.1984 г. – 15.04.1984 г.	22	0,20	1087	275	0,253	25,1	$t_{см}$ в надработанной пластом l_4 зоне
16.04.1984 г. – 06.1984 г.	24	0,55	753	350	0,465	13,8	t_0 в надработанной пластом l_4 зоне
шахта им. газеты "Известия", 7-я западная лава пласта l_2^6							
10.1983 г. – 04.1984 г.	62	0,32	959	259	0,272	15,9	$t_{см}$ в надработанной пластом l_4 зоне
шахта им. газеты "Известия", 8-я западная лава пласта l_2^6							
05.1984 г. – 06.1984 г.	21	0,88	452	250	0,553	9,9	$t_{о.к.}$
07.1984 г. – 09.1984 г.	35	0,16	1247	269	0,216	30,8	$t_{см}$
10.1984 г. – 01.1984 г.	61	0,35	983	275	0,280	15,4	$t_{см}$ в надработанной пластом l_4 зоне
02.1985 г.	11	0,73	234	222	0,949	7,1	t_0 в надработанной пластом l_4 зоне
шахта им. газеты "Известия", 9-я западная лава пласта l_2^6							
05.1985 г. – 06.1985 г.	12	0,72	544	338	0,621	4,0	$t_{о.к.}$

КОЭФФИЦИЕНТЫ НЕРАВНОМЕРНОСТИ, ОПРЕДЕЛЕННЫЕ РАЗНЫМИ СПОСОБАМИ,
В ПЕРИОД СТАБИЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЫЕМОЧНЫХ УЧАСТКОВ

Таблица 2

Период наблюдений	Газовыделение в выработки (I_{θ}), в дегазационные скважины (I_{θ}), суммарное по участку (I_c)	Газовыделение, м ³ /мин		Среднеквадратическое отклонение от среднего газовыделения σ_I ,	Коэффициенты неравномерности		Примечание
		Среднее, \bar{I}_{cm}	Максимальное, I_{max}		$K_n^1 = \frac{I_{max}}{\bar{I}_{cm}}$	$K_n^2 = 1 + \frac{3\sigma_I}{\bar{I}_{cm}}$	
шахта им. А.Ф. Засядько, 16-я восточная лава пласта m_3 согласно данным [8]							
04.2002 г. – 11.2003 г.	I_c	81,8	110,0	15,3	1,34	1,56	
шахта им. газеты «Известия», 6-я западная лава пласта l_2^6							
09.1983 г. – 01.1984 г.	I_{θ}	27,4	44,8	7,9	1,64	1,86	в ненадработанной пластом l_4 зоне
	I_{θ}^1	5,3	21,3	5,0	4,02	3,83	
	I_{θ}^2	11,0	21,7	5,6	1,97	2,52	
	I_c	42,8	63,3	7,5	1,48	1,53	
02.1984 г. – 15.04.1984 г.	I_{θ}	15,9	24,5	4,0	1,54	1,75	в надработанной пластом l_4 зоне
	I_{θ}^1	1,7	5,4	1,7	3,18	4,00	
	I_{θ}^2	8,0	13,8	3,4	1,73	2,28	
	I_c	25,1	38,5	7,2	1,53	1,86	
шахта им. газеты «Известия», 7-я западная лава пласта l_2^6							
10.1983 г. – 04.1984 г.	I_{θ}	9	14,3	2,5	1,59	1,83	в ненадработанной пластом l_4 зоне
	I_{θ}^3	7,6	17,9	4,3	2,36	2,7	
	I_c	15,9	33,9	5,2	2,13	1,98	
шахта им. газеты «Известия», 8-я западная лава пласта l_2^6							
07.1984 г. – 09.1984 г.	I_{θ}	18,1	33,5	4,9	1,85	1,81	в ненадработанной пластом l_4 зоне
	I_{θ}^4	3	14,5	4,2	4,83	5,2	
	I_{θ}^2	10,7	20,1	3,9	1,88	2,09	
	I_c	30,8	43,5	5,5	1,41	1,54	
10.1984 г. – 01.1984 г.	I_{θ}	10,6	25,5	4,5	2,41	2,27	в надработанной пластом l_4 зоне
	I_{θ}^4	1,3	3,7	1,2	2,85	3,77	
	I_{θ}^2	4,6	16,3	4,2	3,54	3,74	
	I_c	15,4	33,1	6,0	2,15	2,17	

шахта им. газеты «Известия», 9-я западная лава пласта I_2^6							
07.06.1985 г. 23.08.1985 г.	I_e	10,4	15,1	2,1	1,45	1,61	в ненадра- ботанной пластом I_4 зоне
	I_0^4	0,9	6,5	1,7	7,22	6,67	
	I_0^2	3,4	5,8	1,7	1,71	2,50	
	I_c	14,6	22,9	3,3	1,57	1,68	

Примечание: $I_0^1, I_0^2, I_0^3, I_0^4$ – газовыделение в группы скважин, систематизированных по условиям их эксплуатации

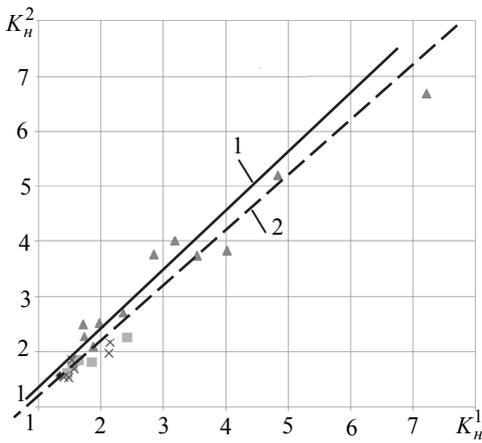


Рис. 2. График взаимной зависимости коэффициентов неравномерности газовыделения (K_n^1 и K_n^2), определенных разными способами:

1 – $K_n^1 = 1,094 K_n^2$; $r = 0,92$; 2 – $K_n^2 = K_n^1$; K_n^1 – коэффициент неравномерности газовыделения, определенный как отношение максимального газовыделения (I_{max}) к среднему значению (\bar{I}_{cm}); K_n^2 – коэффициент неравномерности газовыделения, рассчитанный в предположении соответствия нормальному закону распределения по правилу «трех сигм»; 1 – прямая, характеризующая зависимость между K_n^2 и K_n^1 ; 2 – биссектриса координатной сетки; \blacklozenge – данные, полученные в условиях шахты им. А.Ф. Засядько; $\blacksquare, \blacktriangle$ – экспериментальные данные, полученные в условиях шахты им. газеты «Известия» соответственно для газовыделения в горные выработки и дегазационные скважины; \times – данные, характеризующие суммарное метановыделение в выработку и дегазационные скважины

Неравномерность метановыделения в дегазационные скважины существенно превышала колебания газовыделения в горные выработки. Максимальное значение коэффициентов неравномерности составили $K_n^1 = 7,22$ и $K_n^2 = 6,67$. Такая ситуация была обусловлена нестабильной работой скважин, пробуренных навстречу очистным забоям до подрабатываемых сближенных пластов. Условия эксплуатации дегазационных скважин на разных участках отличались способом охраны выработок, расположением вентиляционных струй воздуха (свежая или исходящая) и направлением утечек воздуха через выработанные пространства эксплуатируемой и ранее отработанных лав. По этим признакам скважины были систематизированы на четыре группы (см. табл. 2):

1 – газовыделение в скважины (I_0^1), пробуренные из выработки с исходящей вентиляционной струей воздуха, примыкающей к выработанному пространству ранее отработанных лав. Утечки воздуха направлены к выработке (6-я западная лава, 6-й уклон);

2 – газовыделение в скважины (I_0^2), пробуренные из выработки со свежей вентиляционной струей воздуха, находящейся под охраной с двух сторон массивом угля (6-я западная лава, 7-й уклон; 8-я западная лава, 9-й уклон; 9-я западная лава, 10-й уклон);

3 – газовыделение в скважины (I_D^3), пробуренные из выработки с исходящей вентиляционной струей воздуха. Выработка с двух сторон находилась в массиве угля. Утечки воздуха через выработанное пространство эксплуатируемой лавы направлены к выработке (7-я западная лава, 8-й уклон);

4 – газовыделение в скважины (I_D^4), пробуренные из выработки с исходящей вентиляционной струей воздуха, примыкающая с одной стороны к выработанному пространству ранее отработанных лав. Утечки воздуха направлены от выработки (8-я западная лава, 8-й уклон; 9-я западная лава, 9-й уклон).

Меньшие коэффициенты неравномерности получены для газовыделения в скважины (I_D^2), пробуренные из выработок со свежей струей воздуха и расположенных в массиве угля впереди очистных забоев ($K_H^1 = 1,71 \div 3,54$; $K_H^2 = 2,09 \div 3,74$). В таких же пределах наблюдалась неравномерность газовыделения в скважины (I_D^2) второй группы ($K_H^1 = 2,36$; $K_H^2 = 2,70$). Несколько выше неравномерность газовыделения (I_D^1) была для скважин первой группы ($K_H^1 = 4,02$; $K_H^2 = 3,83$). Максимальные колебания газовыделения (I_D^4) были установлены для скважин четвертой группы ($K_H^1 = 4,83 \div 7,22$; $K_H^2 = 5,22 \div 6,67$). Из приведенных результатов видно, что наиболее стабильно работают скважины, пробуренные из выработок, охраняемые с двух сторон массивом угля даже в случаях расположения в них свежей вентиляционной струи воздуха. Примыкание выработки с одной стороны к выработанному пространству ранее отработанных лав существенно снижает стабильность эксплуатации скважин.

Колебания суммарного газовыделения в выработки и скважины (I_c) были близки к неравномерности в горные выработки ($K_H^1 = 1,34 \div 2,15$ и $K_H^2 = 1,53 \div 2,17$). Это свидетельствует о том, что пики максимального газовыделения в выработки и скважины в большинстве случаев не совпадают во времени. Достижение пиков максимального газовыделения в выработки и дегазационные скважины требуют отдельного изучения.

На основании разработанных теоретических положений неравномерности метановыделения из подработанных угольных пластов и газоносных пород, а также проверки их соответствия экспериментальным данным, сделаны важные выводы, имеющие научную новизну. Они сводятся к следующему:

– динамика газовыделения из подрабатываемого массива делится на три стадии. Первая вызвана отходом очистного забоя от разрезной печи, ростом добычи угля и развитием процессов сдвижения пород с последующей десорбцией газа из источников. Заканчивается первая стадия достижением первого абсолютного максимума газовыделения под влиянием первичной осадки основной кровли. Вторая стадия характеризуется стабильной добычей угля, а колебания газовыделения вызваны, в основном, последующими осадками основной кровли и процессами десорбции метана из источников. Третьей стадии соответствует период времени отработки выемочного участка с постепенным снижением добычи угля и прекращением очистных работ. На первой и третьей стадиях наблюдается тесная корреляционная зависимость газовыделения от уровня добычи. На второй стадии такая зависимость практически отсутствует;

– необходимость рассчитывать коэффициенты неравномерности газовыделения имеется только для второй стадии эксплуатации выемочного участка;

– теоретически коэффициенты неравномерности газовыделения на второй стадии не должны быть более двух. Экспериментально это положение подтверждено для газовыделения в выработки. Неравномерность газовыделения в скважины, пробуренные до подрабатываемых угольных пластов навстречу очистному забою может быть в несколько раз выше по сравнению с газовыделением в выработки;

– неравномерность газовыделения в скважины определяется способом охраны выработки, из которых они пробурены. Она увеличивается, если выработка приоткрывает с одной стороны к выработанному

пространству ранее отработанных лав;

– два способа определения коэффициентов неравномерности газовыделения, наиболее распространенных в настоящее время, приводят примерно к одинаковым результатам;

– оставление целиков угля на вышележащих надрабатываемых пластах вызывает увеличение коэффициентов неравномерности газовыделения;

– всплески газовыделения в горные выработки и дегазационные скважины не совпадают между собой во времени и требуют дальнейшего изучения.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт [Текст] / ред. кол.: С.В. Янко [и др.]; под ред. С.В. Янко. – К.: Основа, 1994 – 311 с.*

2. Антощенко, Н.И. Физико-математическая модель динамики метановыделения из подрабатываемых угольных пластов [Текст] / Н.И. Антощенко, С.И. Кулакова // *Горный журнал. – 2012. – № 8 – С. 89-93.*

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

ОБ АВТОРАХ

Бондаренко Владимир Ильич – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой подземной разработки месторождений Национального горного университета (НГУ).

Антощенко Николай Иванович – д.т.н., профессор кафедры охраны труда, ректор Донбасского государственного технического университета.

Харин Евгений Николаевич – аспирант кафедры охраны труда Донбасского государственного технического университета, первый заместитель председателя Луганского областного совета.

Гасюк Родион Леонидович – аспирант кафедры охраны труда Донбасского государственного технического университета.