

УДК 622.411.33

*к.т.н. Филатъев М. В.,  
д.т.н. Антощенко Н. И.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина),  
Крыжановский Ю. Ю.  
(ПАО «Краснодонуголь», г. Краснодар, Украина)*

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПРОГНОЗА ДИНАМИКИ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯ ИЗ ПОДРАБАТЫВАЕМЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ И ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД

*Динамика изменения добычи угля и газовой выделения из подрабатываемых источников за весь период отработки лав. Зависимость уровня газовой выделения от добычи угля на каждой стадии эксплуатации выемочных участков. Методика и порядок расчета параметров динамики газовой выделения из подрабатываемых источников.*

**Ключевые слова:** добыча угля, газовой выделения, подрабатываемые породы, сдвигение, динамика, параметры, методика расчета.

Отработка выемочных участков длинными лавами, как правило, осуществляется в несколько стадий. Это обусловлено технологическими и организационными особенностями ведения очистных работ. После ввода выемочного участка в эксплуатацию происходит опробывание оборудования и устраняются выявленные недостатки и неисправности. По этой причине практически не возможно с первых дней эксплуатации выемочного участка обеспечить плановые показатели добычи угля. Достижение намеченного уровня добычи угля в реальных условиях может происходить от нескольких недель до нескольких месяцев. В этот период развитие очистных работ связано с удалением забоя от разрезной печи и началом процесса сдвигения подработанных пород. Параллельно с увеличением добычи угля и развитием процессов сдвигения пород происходит рост газовой выделения из подрабатываемых источников. На этой стадии отработки выемочного участка газовой выделения из указанных источников может достигать своего максимального значения при осадке основной кровли и(или) распространении процессов сдвигения до земной поверхности.

После достижения плановых показателей добычи угля и осадки основной кровли газовой выделения из подрабатываемых источников связано только с подвиганием очистного забоя. Плановой добыче угля соответствует определенный уровень газовой выделения. Колебания метановой выделения в этот период определяются, в значительной степени, процессами сдвигения подработанных пород.

Заключительная стадия эксплуатации выемочного участка связана с постепенным сокращением добычи угля до полного ее прекращения. Снижение скорости подвигания очистного забоя вызывает уменьшение интенсивности сдвигения подработанных пород, что, в свою очередь, приводит к сокращению десорбции газа из подрабатываемых источников.

Приведенный анализ показывает, что отработка выемочных участков длинными лавами характеризуется, как минимум, тремя стадиями. При отработке лав на этих стадиях изменяются факторы, определяющие уровень и колебания газовой выделения из подрабатываемых источников. Для про-

---

© Филатъев М. В., 2014

© Антощенко Н. И., 2014

© Крыжановский Ю. Ю., 2014

гнозирования динамики газовой выделения при отработке выемочных участков необходимо изучить особенности метановыделения и влияющие факторы на каждой стадии эксплуатации выемочного участка

Об актуальности рассматриваемого вопроса свидетельствует тот факт, что согласно нормативному документу [1] производится прогноз одного значения среднего уровня газовой выделения и при прочих, равных условиях, учитывается только плановая добыча угля. Такой подход не позволяет оценить изменение метановыделения на протяжении всего периода эксплуатации выемочного участка под влиянием изменяющихся параметров очистных работ и в случае необходимости принимать экстренные меры, для нормализации газовой обстановки в горных выработках.

Методикой исследований предусматривался анализ возможных факторов, определяющих газовой выделение из подрабатываемых источников на разных стадиях отработки выемочных участков с последующей проверкой соответствия принятых научных положений результатам, полученным в шахтных условиях. К таким факторам на первой стадии эксплуатации выемочного участка отнесли рост добычи угля, развитие очистных работ (удаление забоя от разрезной печи) и связанные с ними процессы сдвижения подработанных пород.

На стадии стабильной работы очистного забоя основным фактором, определяющим уровень газовой выделения, является плановая добыча угля. При примерно постоянной нагрузке на очистной забой колебания газовой выделения определяются процессами сдвижения подработанных пород.

На заключительной стадии работы лавы происходит снижение добычи угля до полного прекращения очистных работ, что вызывает сокращение газовой выделения практически до нуля.

Экспериментальная часть работы проведена в условиях шахт «Суходольская-Восточная» ПАО «Краснодонуголь», им.

газеты «Известия» ГП «Донбассантрацит» и им. А.Ф. Засядько [2] при отработке соответственно пластов  $i'_3$ ,  $l_2^s$  и  $m_3$ .

Исходя из логических рассуждений сделали предположение, что рост добычи угля ( $A$ ) после начала эксплуатации выемочного участка и удалении очистного забоя от разрезной печи ( $L$ ) происходит по экспоненциальной зависимости:

$$A = A_m(1 - e^{-k_1 L}), \quad (1)$$

где  $A_m$  — плановый (максимальный) уровень добычи угля, т/сут;  $k_1$  — эмпирический коэффициент, характеризующий изменение добычи угля.

При выборе зависимости газовой выделения от расстояния между очистным забоем и разрезной печью ( $L$ ) исходили из того факта, что метановыделение в эту выработку до начала ведения очистных работ незначительно, и в редких случаях превышает  $1 \text{ м}^3/\text{мин}$ . Объясняется это отсутствием отбойки угля во время монтажных работ. Их длительность может составлять от нескольких недель до нескольких месяцев. За это время газовой выделение с обнаженных поверхностей разрезной печи снижается до минимальных значений. По этой причине фоновое значение газовой выделения до начала очистных работ близко к нулю и текущее изменение метановыделения ( $I_c$ ) по мере увеличения расстояния ( $L$ ) можно также описать экспоненциальной кривой, выходящей из начала координатной сетки:

$$I_c = I_m(1 - e^{-k_2 L}), \quad (2)$$

где  $I_m$  — уровень газовой выделения, который соответствует плановой добыче угля  $A_m$ ,  $\text{м}^3/\text{мин}$ ;  $k_2$  — эмпирический коэффициент, характеризующий горно-геологические и горнотехнические условия эксплуатации конкретной лавы.

По мере развития очистных работ метановыделение происходит как в горные выработки, так и в дегазационные скважины. В уравнении (2) учитывали их суммарное значение ( $I_c$ ).

## РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН

Результаты обработки экспериментальных данных согласно уравнениям (1 и 2) сведены в таблицу 1. В качестве примера (рис. 1) приведены графики изменения уровня добычи угля и суммарного газовыделения в горные выработки и скважины при отработке 25-й западной лавы шахты «Суходольская-восточная». Из графиков видно, что плановые показатели добычи угля были достигнуты при удалении очистного забоя от разрезной печи на 64 м. Суммарное газовыделение, которое соответствовало этому уровню добычи, происходило при расстоянии между очистным забоем и разрезной печью около 200 м. Такое соотношение указывает на то, что при расстоянии менее 200 м на уровень газовыделения оказывали влияние два

фактора — добыча угля и степень развития очистных работ. После удаления на расстояние более 200 м уровень газовыделения ( $40,6 \text{ м}^3/\text{мин}$ ) определялся плановой нагрузкой ( $1486 \text{ т/сут}$ ) на очистной забой 25-й западной лавы (табл. 1), а развитие очистных работ (удаление забоя от разрезной печи) уже не влияло на процессы метановыделения (рис. 1).

Такое изменение добычи угля и газовыделения было характерным для выемочных участков шахт «Суходольская-Восточная» и им. А.Ф. Засядько. Это подтверждается (табл. 1) высокими значениями корреляционных отношений ( $R$ ) как для добычи угля ( $0,95 \div 1,00$ ), так и метановыделения ( $0,80 \div 0,99$ ).

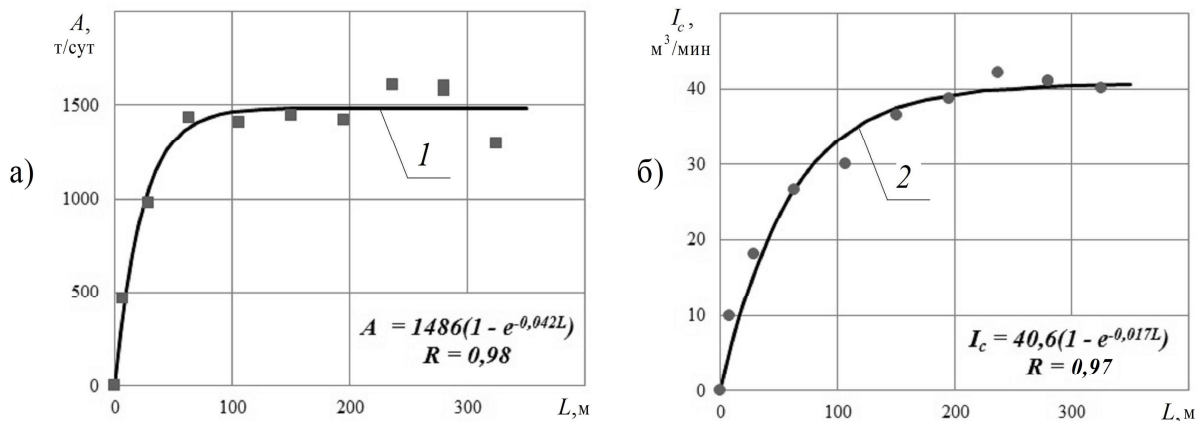
Таблица 1 — Сведения об эмпирических коэффициентах экспоненциальных уравнений (1, 2) и параметрах, характеризующих зависимость добычи угля ( $A$ ) и газовыделения ( $I_c$ ) при удалении очистных забоев от разрезных печей

Лавы	Уравнение 1				Уравнение 2			
	добыча $A_m$ , т/сут	эмпирический коэффициент $k_1$	корреляционное отношение $R$	среднеквадратическое отклонение $\sigma_A$ , т/сут	метановыделение $I_m$ , м <sup>3</sup> /мин	эмпирический коэффициент $k_2$	корреляционное отношение $R$	среднеквадратическое отклонение $\sigma_{I_c}$ , м <sup>3</sup> /мин
Шахта "Суходольская-Восточная"								
12-я бис восточ-	1039	0,12	0,96	77	21,9	0,05	0,89	3,2
24-я восточная	2034	0,04	1,00	28	53,3	0,03	0,95	7,8
25-я западная	1486	0,04	0,98	102	40,6	0,01	0,86	2,5
34-я восточная	687	0,09	0,95	65	12,8	0,01	0,97	1,0
37-я западная	954	0,01	0,95	113	16,4	0,02	0,99	0,9
Шахта им. газеты "Известия"								
1-я бис западная	280	0,01	0,87	62	-	-	-	-
2-я западная	1095	0,02	0,90	250	37,3	0,00	0,95	4,4
3-я западная	1313	0,01	0,93	201	37,7	0,01	0,97	4,4
4-я западная	1722	0,00	0,64	397	-	-	-	-
5-я западная	1222	0,01	0,85	261	42,4	0,02	0,91	7,4
6-я западная	775	0,42	0,36	280	22,7	0,05	0,84	4,8
7-я западная	1195	0,02	0,96	145	-	-	-	-
8-я западная	1342	0,01	0,99	71	65,1	0,02	0,96	9,2
9-я западная	872	0,07	0,99	74	13,9	0,03	0,98	1,6
Шахта им. А.Ф. Засядько [2]								
16-я восточная	2878	0,01	0,99	66	80,9	0,01	0,80	14,1

## РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН

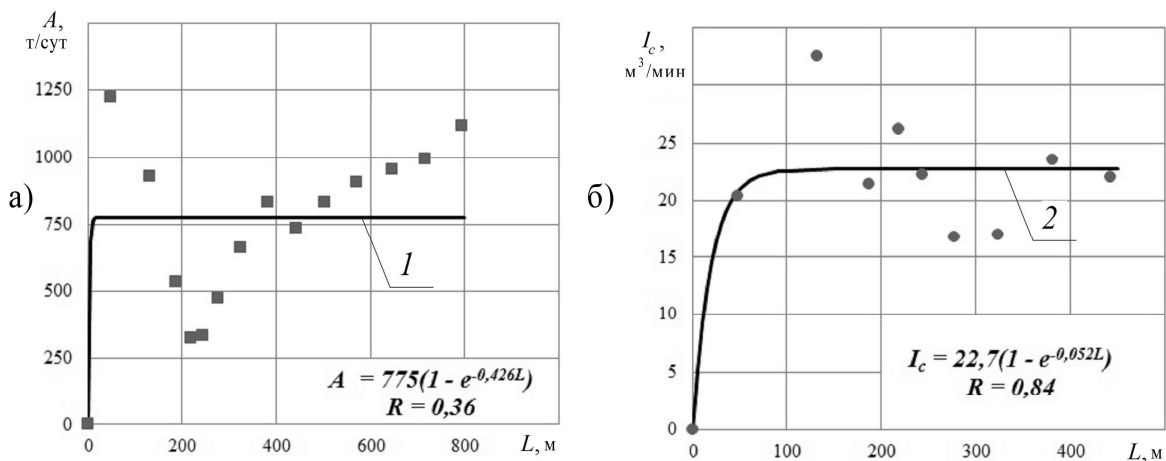
В условиях шахты им. газеты «Известия» рост добычи угля происходил подобным образом (табл. 1) на семи выемочных участках из девяти ( $R = 0,85 \div 0,99$ ). На двух участках корреляционные связи были значительно слабее. При эксплуатации 6-й западной лавы такая зависимость практически отсутствовала ( $R = 0,36$ ). Не типичное изменение добычи угля (рис. 2) из-

за ухудшения горно-геологических условий практически не повлияло на характер изменения суммарного газовыделения ( $R = 0,84$ ). Это свидетельствует о существенном влиянии на уровень газовыделения в начальный период эксплуатации выемочных участков процессов сдвижения подрабатываемых пород при удалении очистных забоев от разрезных печей.



■, ● — экспериментальные данные;  $I, 2$  — кривые изменения соответственно добычи угля и газовыделения;  $R$  — корреляционное отношение.

Рисунок 1 — Пример изменения добычи ( $A$ ) угля (а) и суммарного газовыделения ( $I_c$ ) в выработки и скважины (б) от расстояния ( $L$ ) между очистным забоем и разрезной печью при отработке 25-й западной лавы пласта  $i_3^I$  шахтой «Суходольская-Восточная».



■, ● — экспериментальные данные;  $I, 2$  — кривые изменения соответственно добычи угля и газовыделения;  $R$  — корреляционное отношение.

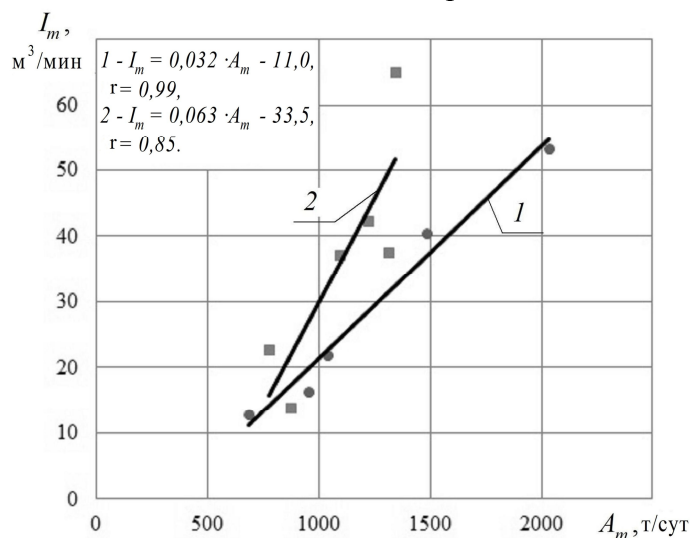
Рисунок 2 — Пример изменения добычи ( $A$ ) угля (а) и суммарного газовыделения ( $I_c$ ) в выработки и скважины (б) от расстояния ( $L$ ) между очистным забоем и разрезной печью при отработке 6-й западной лавы пласта  $i_2^6$  шахтой им. газеты «Известия».

## РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН

Приведенные примеры по рассматриваемым шахтам указывают на то, что в большинстве случаев (около 90%) достижение плановых нагрузок происходит согласно экспоненциальной зависимости. В дальнейшем анализировались эмпирические коэффициенты уравнений (1 и 2), для которых корреляционное отношение превышало 0,80. Установлены прямопропорциональные зависимости  $I_m$  от  $A_m$ . Они сугубо индивидуальны для конкрет-

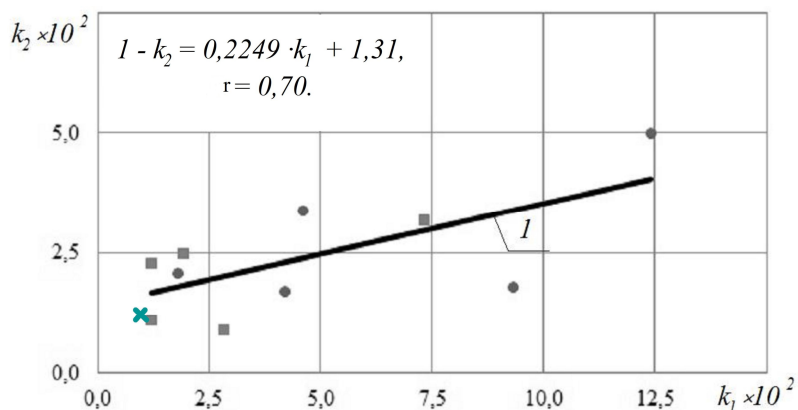
ных горно-геологических и горнотехнических условий (рис. 3).

Эмпирические коэффициенты  $k_1$  и  $k_2$  практически не зависели от  $A_m$ . Коэффициенты корреляции ( $r$ ) соответственно равны 0,30 и 0,14. В свою очередь значения  $k_1$  и  $k_2$  коррелируют между собой (рис.4), что, очевидно, обусловлено схожими процессами сдвижения подработанных пород в разных горно-геологических условиях.



- , ■ — экспериментальные данные; 1,2 — осредняющие прямые соответственно для выемочных участков шахт «Суходольская-Восточная» и им. газеты «Известия»;  $r$  — коэффициент корреляции.

Рисунок 3 — Зависимость максимального газовыделения ( $I_m$ ) от плановой нагрузки ( $A_m$ ) на очистные забои.



- , ■, ✕ — экспериментальные данные соответственно для выемочных участков шахт «Суходольская-Восточная», им. газеты «Известия» и им. А.Ф. Засядько; 1 — осредняющая прямая;  $r$  — коэффициент корреляции.

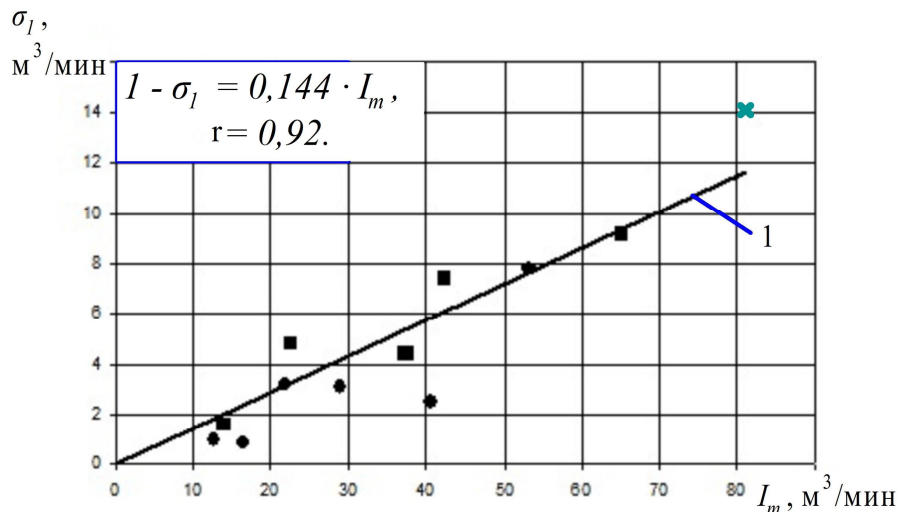
Рисунок 4 — Зависимость эмпирического коэффициента  $k_2$  от  $k_1$ .

Чем больше по абсолютной величине  $k_1$ , тем круче кривая роста добычи угля соответствующая уравнению 1. Исходя из соотношения между  $k_1 > k_2$ , зависимость газовыделения согласно уравнению (2) будет более пологой по сравнению с кривой роста добычи угля (1) при удалении очистного забоя от разрезной печи. Это указывает на то, что увеличение газовыделения отстаёт во времени и пространстве от роста нагрузки на очистной забой.

Для рассматриваемых выемочных участков (табл.1) не установлена корреляционная зависимость между среднеекватрическим отклонением  $\sigma_A$  и значением  $A_m$  ( $r = 0,20$ ), что, очевидно, связано с разной

механизацией, технологией и организацией производственных циклов на выемочных участках.

Между среднеекватрическим отклонением газовыделения  $\sigma_I$  и значением  $I_m$  наблюдалась прямопропорциональная зависимость (рис. 5). Соотношение между  $\sigma_I$  и  $I_m$  свидетельствует, что изменение  $\sigma_I$  происходит пропорционально  $I_m$ . Это указывает на то, что с увеличением  $I_m$  коэффициент неравномерности газовыделения остается примерно постоянным, а не уменьшается как принято согласно [1].



●, ■, ✕ — экспериментальные данные соответственно для выемочных участков шахт «Суходольская-Восточная», им. газеты «Известия» и им. А.Ф. Засядько; 1 — осредняющая прямая;  $r$  — коэффициент корреляции.

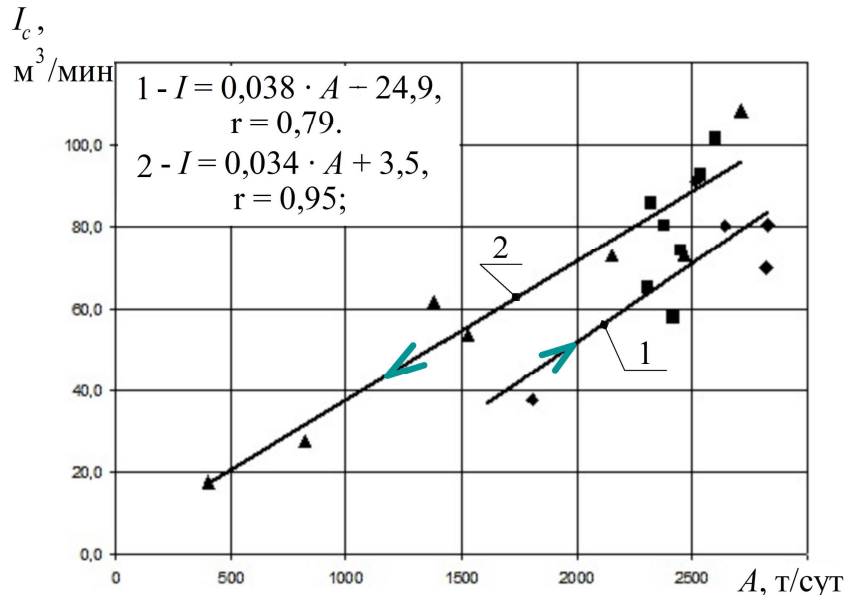
Рисунок 5 — Зависимость среднеекватрического отклонения метановыделения ( $\sigma_I$ ) от максимального его значения ( $I_m$ ).

Вторая стадия эксплуатации выемочных участков характеризовалась стабильной добычей угля и соответствующим ей уровнем газовыделения. Колебания газовыделения на этой стадии происходили в большей степени по сравнению с изменением добычи угля. Например, в условиях шахты им. А.Ф. Засядько согласно данным [2] среднемесячная добыча находилась в диапазоне  $2308 \div 2716$  т/сут, а газовыделение в пределах  $57,7 \div 108,5$  м<sup>3</sup>/мин. В дан-

ном случае при изменении добычи угля менее чем на 20% колебания газовыделения составляли около 90%. Это указывает на то, что при стабильной работе выемочного участка неравномерность газовыделения в большей степени определялась процессами сдвигания подработанных пород или другими факторами. Доказательством факта неодинаковой степени влияния добычи угля на разных стадиях эксплуатации выемочного участка свиде-

тельствуют графики (рис. 6) зависимости  $I_c = f(A)$ . Осредняющая прямая (1), соответствующая зависимости в начальный период эксплуатации выемочного участка, не совпадает с аналогичной зависимостью (2) на заключительной стадии доработки лавы. Первая осредняющая получена при увеличении добычи угля до плановых показателей на стадии развития очистных работ, а вторая — при снижении добычи угля, обусловленная доработкой выемочного участка.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволяют, в первом приближении, предложить общий



◆, ■, ▲ — экспериментальные данные, полученные соответственно на 1-й, 2-й и 3-й стадиях отработки выемочного участка; 1, 2 — осредняющие прямые экспериментальных данных, полученных соответственно на 1-й и 3-й стадиях отработки выемочного участка; ➔ — направление изменения добычи угля;  $r$  — коэффициент корреляции.

Рисунок 6 — Зависимость суммарного газовыделения ( $I_c$ ) от среднемесячной нагрузки на очистной забой ( $A$ ) при отработке 16-й восточной лавы пласта  $m_3$  шахтой им. А. Ф. Засядько, согласно данным [2].

– приняв текущее значение  $I_c \approx I_m$  из уравнения 2 определяется расстояние  $L$  на котором будет достигаться газовыделение  $I_m$ ;

– используя один из известных способов прогноза для плановой добычи угля ( $A_m$ ) определяется уровень газовыделения ( $I_m$ ). Кроме прогноза газовыделения согласно нормативному документу [1] можно использовать эмпирические зависимости аналогичные, приведенным на рисунке 3;

порядок прогнозирования основных параметров динамики газовыделения на всех стадиях эксплуатации выемочных участков. Этот порядок предусматривает следующие расчеты:

– задав степень близости текущих значений добычи угля ( $A$ ) к плановому показателю ( $A_m$ ) и удаления очистного забоя от разрезной печи ( $L$ ), на котором  $A \approx A_m$  из уравнения (1) определяется коэффициент  $k_1$ ;

– согласно уравнению (рис. 4) по значению  $k_1$  рассчитывается коэффициент  $k_2$  уравнения 2;

– для стадии стабильной работы выемочного участка определяются возможные колебания  $I_m$  с учетом среднеквадратического отклонения ( $\sigma_I$ ), определяемого согласно зависимости (рис. 5);

– на заключительной стадии доработки лавы газовыделение будет снижаться пропорционально сокращению добыче угля (рис. 6). Темпы ее снижения можно предусмотреть исходя из условий доработки выемочного участка.

Проведенные исследования позволили установить закономерности изменения некоторых параметров динамики газовыделения за весь период эксплуатации выемочных участков в зависимости от уровня добычи угля и степени развития очистных работ. Они заключаются в следующем:

- в большинстве случаев (около 90%) рост добычи угля на выемочных участках удовлетворительно описывается экспоненциальной зависимостью;
- динамика газовыделения соответствует экспоненциальной кривой при удалении очистного забоя от разрезной печи;
- для конкретных горно-геологических условий имеется своя характерная индивидуальная зависимость уровня газовыделения от плановой (максимальной) добычи угля;

– увеличение газовыделения в начальный период эксплуатации выемочного участка отстаёт во времени от роста добычи угля;

– установлена прямопропорциональная зависимость между коэффициентами  $k_1$  и  $k_2$  уравнений 1 и 2;

– коэффициент неравномерности газовыделения из подрабатываемых источников в условиях рассматриваемых шахт оставался практически постоянным;

– проведенные исследования позволили впервые предложить порядок расчета основных параметров динамики газовыделения для всех стадий отработки выемочных участков.

#### Библіографічний список

1. *Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт / ред. кол.: С.В. Янко [и др.] ; под ред. С.В. Янко. — Киев: Основа. — 1994. — 311 с.*
2. *Бокий Б.В. Перспектива извлечения метана из техногенных скоплений / Б.В. Бокий, О.И. Касимов // Уголь Украины. — 2005. — №5. — С. 17–21.*

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. ДонГТУ Окалеловым В. Н., д.т.н., зам.директора МакНИИ Коптиковым В. П.*

*Статья поступила в редакцию 16.06.14.*

**к.т.н. Філатєв М. В., д.т.н., проф. Антощенко М. І. (ДонДТУ, м. Алчевськ, Україна), Крижановський Ю. Ю. (ПАТ «Краснодонвугілля», м. Краснодон, Україна)**

#### **ТЕОРЕТИЧНІ І ПРАКТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ ПРОГНОЗУ ДИНАМІКИ ГАЗОВИДІЛЕННЯ З ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ, ЩО ПІДРОБЛЯЮТЬСЯ, ТА ВМІЩУЮЧИХ ПОРІД**

*Динаміка зміни видобутку вугілля і газовиділення з джерел, що підробляються, за увесь період відробки лав. Залежність рівня газовиділення від видобутку вугілля на кожній стадії експлуатації виїмкових ділянок. Методика і порядок розрахунку параметрів динаміки газовиділення з джерел, що підробляються.*

**Ключові слова:** видобуток вугілля, газовиділення, породи, що підробляються, зрушення, динаміка, параметри, методика розрахунку.

**Filatyeв M.V. Candidate of Engineering Sciences, Antoshchenko N.I. Doctor of Engineering Sciences, Professor (DonSTU, Alchevsk, Ukraine), Kryzhanovsky Yu.Yu. (PSC “Krasnodonugol”, Krasnodon, Ukraine)**

#### **THEORETICAL AND PRACTICAL INDICATIONS OF DYNAMIC FORECAST OF GAS EMISSION FROM UNDERMINE COAL BEDS AND ADJACENT STRATA**

*The dynamics of changes of coal production and gas emission from undermine sources during the period of face development is defined. Level dependence of gas emission from coal production on each stage of working areas exploitation is set up. The technique and the order of dynamic gas emission parameters calculation from undermine sources is developed.*

**Key words:** coal production, gas emission, undermine rocks, shift, dynamics, parameters, calculation technique.