

УДК 622.333+622.83+622.817.4

к.т.н. Филатъев М. В.,  
д.т.н. Антощенко Н. И.  
(ДонГТУ, г. Лисичанск, Украина)

## ЗАВИСИМОСТЬ ПАРАМЕТРОВ ДИНАМИКИ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯ ИЗ ПОДРАБАТЫВАЕМОЙ УГЛЕПОРОДНОЙ ТОЛЩИ ОТ ВЛИЯЮЩИХ ФАКТОРОВ

Рассмотрена зависимость эмпирических коэффициентов добычи угля и уровня газовыделения от влияющих факторов. Установлены корреляционные связи между этими коэффициентами и горно-геологическими, горнотехническими условиями и характерными параметрами динамики газовыделения.

**Ключевые слова:** добыча угля, газовыделение, коэффициент корреляции, размер выработанного пространства.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Экспериментально установлены [1] зависимости добычи угля и динамики газовыделения из подрабатываемой углепородной толщи от степени развития очистных работ на выемочном участке. В 90% случаев добыча угля ( $A$ ) после начала эксплуатации выемочных участков изменяется согласно 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;

$L$  – удаление очистного забоя от разрезной печи, м.

По аналогичной зависимости происходит изменение газовыделения ( $I$ ) при удалении очистного забоя от разрезной печи:

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

где  $I_m$  – уровень газовыделения, который соответствует плановой добыче угля  $A_m$ , м<sup>3</sup>/мин,

$k_2$  – эмпирический коэффициент.

В одних горно-геологических и горнотехнических условиях максимальное значение газовыделения  $I_m$  зависит от вели-

чины  $A_m$  [1]. В свою очередь оба эти параметра изменяются по мере развития очистных работ на выемочном участке – удалении ( $L$ ) очистного забоя от разрезной печи.

До настоящего времени корреляционные связи эмпирических коэффициентов ( $A_m$ ,  $I_m$ ) уравнений 1 и 2 с параметрами горно-геологических и горнотехнических условий не рассматривались. Знание тесноты таких связей необходимо для прогнозирования динамики газовыделения с целью обеспечения безопасных условий отработки угольных пластов. По этой причине установление тесноты корреляционных связей параметров динамики газовыделения с горно-геологическими и горнотехническими условиями отработки угольных пластов является актуальной задачей.

**Цель работы** – установить возможные корреляционные связи между эмпирическими коэффициентами ( $A_m$ ,  $I_m$ ) уравнений (1, 2) с горно-геологическими и горнотехническими условиями и характерными параметрами динамики газовыделения.

**Методика.** К корреляционному анализу приняты мощность ( $m$ ) разрабатываемых пластов, их газоносность ( $q$ ) и глубина ( $H$ )

залегания, длина ( $L_n$ ) лав, общая ширина выработанного пространства ( $B$ ) с учётом ранее отработанных выемочных участков, скорость подвигания ( $V_{оч}$ ) очистных забоев, фактическая максимальная среднесуточная добыча угля ( $A_m^\phi$ ) и удаление очистного забоя ( $L_m^\phi$ ) от разрезной печи, на которой она достигалась. На каждом выемочном участке фиксировались расстояния ( $l_H^1, l_m^{ckв}, l_m^c$ ) между очистным забоем и разрезной печью, при которых соответственно начиналось увеличение газовыделения ( $l_H^1$ ) в выработки или скважины и достигались максимумы газовыделения в дегазационные скважины ( $l_m^{ckв}$ ) и суммарного газовыделения ( $l_m^c$ ).

**Изложение материала и его результаты.** На основании теоретических предположений о возможной десорбции газа из подрабатываемой углепородной толщи следует, что максимальное газовыделение может происходить при достижении процессами сдвижения пород земной поверхности. Для подтверждения такого предположения к анализу приняли расчетные согласно [2] значения расстояний ( $L_H^3$ ) между очистными забоями и разрезными печами, при которых происходило начало сдвижения земной поверхности.

Экспериментальные и расчетные значения анализируемых параметров для условий шахт им. газеты «Известия», «Суходольская-Восточная» и им. А.Ф. Засядько [3] приведены в таблице 1. Ими отрабатывались соответственно угольные пласты  $l_2^B$ ,  $i_3'$  и  $m_3$ . Результаты определения парных коэффициентов корреляции между эмпирическими коэффициентами ( $A_m$ ,  $I_m$ ) уравнений (1, 2) и параметрами горно-геологических и горнотехнических условий сведены в таблицу 2.

По своей сути коэффициент  $A_m$  уравнения 1 характеризует осреднённую добычу угля, после достижения плановых её показателей на выемочном участке. Аналогично коэффициент  $I_m$  уравнения 2 отражает средний максимум газовыделения из подрабатываемой углепородной толщи при достижении плановой ( $A_m$ ) нагрузки на очистной забой. Между этими эмпирическими коэффициентами наблюдалась тесная корреляционная зависимость ( $r = 0,82$ ). Можно считать, что параметр  $A_m$  практически функционально отражает фактический уровень добычи  $A_m^\phi$  на выемочном участке ( $r = 0,94$ ). Примерно такая же теснота связи наблюдалась между эмпирическим коэффициентом  $I_m$  и экспериментально установленным максимумом суммарного газовыделения  $l_m^c$  ( $r = 0,96$ ). Это свидетельствует о том, что в инженерных расчетах для прогнозирования значений  $A_m^\phi$  и  $l_m^c$  можно использовать эмпирические коэффициенты  $A_m$  и  $I_m$ . Подтверждением этому являются примерно одинаковые коэффициенты корреляции для зависимостей  $I_m^c = f_1(A_m)$ ,  $I_m^{ckв} = f_2(A_m)$ ,  $I_m = f_3(A_m)$  и  $I_m^c = f_4(A_m^\phi)$ ,  $I_m^{ckв} = f_5(A_m^\phi)$ ,  $I_m = f_6(A_m^\phi)$ . Парные коэффициенты корреляции для этих зависимостей соответственно равны  $r_1 = 0,83$ ,  $r_2 = 0,68$ ,  $r_3 = 0,82$  и  $r_4 = 0,88$ ,  $r_5 = 0,78$ ,  $r_6 = 0,88$  (табл. 2).

Расстояния между очистными забоями и разрезными печами ( $l_m^{ckв}$ ), при которых достигались максимумы газовыделения в скважины, зависели от параметров  $L_H^3$ , характеризующих начало сдвижения земной поверхности ( $r = 0,84$ ).

## РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН

Таблица 1 – Исходные горно-геологические и горнотехнические данные для определения корреляционных связей их параметров с эмпирическими коэффициентами  $A_m$  и  $I_m$ 

№ n/n	Лава	Эмпирические коэффициенты		Горно-геологические и горнотехнические условия												Удаление очистного забоя от разрезной печи, м				Газовыделение, м <sup>3</sup> /мин			
		A <sub>м</sub> , т/сут	I <sub>м</sub> , м <sup>2</sup> /мин	m, м	H, м	L <sub>гп</sub> , м	B, м	q, м <sup>3</sup> /т.с.б.м	V <sub>оч</sub> , м/мес	L <sub>н</sub> <sup>з</sup> , м	A <sub>м</sub> <sup>ф</sup> , т/сут	l <sub>A</sub> <sup>ф</sup> , м	l <sub>н</sub> <sup>1</sup>	I <sub>м</sub> <sup>скв</sup>	l <sub>м</sub> <sup>с</sup>	I <sub>н</sub> <sup>1</sup>	I <sub>м</sub> <sup>скв</sup>	I <sub>м</sub> <sup>с</sup>					
шахта им. газеты «Известия»																							
1	1-я западная	375	-	0,9	300	185	1026	19,7	33	89	582	130	60	64	66	8,6	9,7	10,4					
2	1-я бис западная	280	-	0,9	300	100	1126	15,1	28	66	358	74	87	112	112	3,0	3,7	6,2					
3	2-я западная	1095	37,3	0,9	300	200	200	23,0	77	92	1528	240	75	105	464	13,2	15,4	41,0					
4	2-я бис западная	240	-	0,9	300	200	415	24,1	32	66	399	40	83	89	127	8,2	16,8	20,9					
5	3-я западная	1313	37,7	0,9	300	215	415	26,4	83	92	1636	475	75	99	332	7,2	34,4	40,8					
6	4-я западная	1722	-	0,9	300	210	615	28,3	83	102	1675	200	-	-	250	-	-	45,9					
7	5-я западная	1222	46,7	0,9	300	216	1026	29,5	90	90	1654	760	71	90	90	15,2	34,9	53,2					
8	6-я западная	775	-	0,9	300	230	1256	32,0	99	113	1224	86	46	119	119	13,1	18,5	51,4					
9	7-я западная	1195	-	0,9	300	230	1486	34,9	87	82	1438	395	20	100	-	-	22,0	39,6					
10	8-я западная	1342	52,9	0,9	300	215	1701	34,9	67	77	1367	412	15	99	99	7,8	18,5	54,1					
11	9-я западная	872	42,5	0,9	300	250	1951	35,0	54	79	1011	93	31	85	63	6,5	13,2	43,4					
шахта «Суходольская-Восточная»																							
12	12-я бис восточная	1039	21,9	2,2	965	240	500	-	34	106	1138	77	50	107	349	14,6	4,8	22,4					
13	24-я восточная	2034	53,3	2,2	1016	240	920	33,0	67	154	2236	100	32	102	326	32,1	35,6	57,7					
14	25-я западная	1486	40,6	2,2	1198	265	830	33,0	36	132	1077	65	6	107	237	10,0	16,4	42,1					
15	34-я восточная	687	12,8	1,2	948	180	380	-	46	212	764	59	19	149	396	7,9	3,8	11,9					
16	37-я западная	954	16,4	1,2	911	180	740	-	57	233	811	350	58	199	278	12,5	7,1	16,7					
шахта им. А.Ф. Засядько [3]																							
17	16-я западная	2878	80,9	1,6	1200	270	3200	20,0	108	363	3100	434	-	-	143	-	-	106					

## РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН

Таблиця 2 – Результати определения парных коэффициентов корреляции ( $r$ ) между эмпирическими коэффициентами ( $A_m$ ,  $I_m$ ) и параметрами горно-геологических и горнотехнических условий

	$A_m$	$I_m$	$m$	$L_{\pi}$	$H$	$B$	$q$	$V_{оч}$	$L_H^z$	$A_m^{\Phi}$	$L_A^{\Phi}$	$I_H'$	$I_m^{СКВ}$	$I_H^1$	$I_m^c$
$A_m$		0,82	0,46	0,65	0,51	0,53	0,16	0,61	0,62	0,94	0,38	-0,47	-0,04	0,14	0,83
$I_m$	0,82		0,02	0,63	-0,04	0,75	-0,25	0,72	0,23	0,81	0,33	-0,21	-0,68	-0,55	0,96
$m$	0,46	0,02		0,48	0,86	0,01	0,20	-0,22	0,38	0,31	-0,29	-0,41	0,12	0,44	0,13
$L_{\pi}$	0,65	0,63	0,48		0,39	0,39	0,63	0,42	0,28	0,62	0,14	-0,58	-0,26	0,50	0,69
$H$	0,51	-0,04	0,86	0,39		0,15	0,05	-0,11	0,75	-0,18	0,34	-0,48	0,49	0,35	0,16
$B$	0,53	0,75	0,01	0,39	0,15		0,04	0,42	0,46	0,52	0,27	-0,43	-0,26	-0,26	0,66
$q$	0,16	-0,25	0,20	0,63	0,05	0,04		0,26	-0,20	0,10	0,15	-0,82	0,16	0,40	0,29
$V_{оч}$	0,61	0,72	-0,22	0,42	-0,11	0,42	0,26		0,32	0,78	0,63	-0,06	0,02	0,46	0,76
$L_H^z$	0,62	0,23	0,38	0,28	0,75	0,46	-0,20	0,32		0,54	0,14	-0,31	0,84	0,31	0,40
$A_m^{\Phi}$	0,94	0,81	0,31	0,62	-0,18	0,52	0,10	0,78	0,54		0,49	-0,26	-0,13	0,61	0,88
$L_A^{\Phi}$	0,38	0,33	-0,29	0,14	0,34	0,27	0,15	0,63	0,14	0,49		0,15	-0,01	0,26	0,44
$I_H'$	-0,47	-0,21	-0,41	-0,58	-0,48	-0,43	-0,82	-0,06	-0,31	-0,26	0,15		-0,09	-0,07	-0,32
$I_m^{СКВ}$	-0,04	-0,68	0,12	-0,26	0,49	-0,26	0,16	0,02	0,84	-0,13	-0,01	-0,09		0,15	-0,29
$I_m^c$	0,14	-0,55	0,36	0,02	0,38	-0,59	0,00	0,01	0,18	0,16	-0,13	-0,05	0,42	-0,05	-0,01
$I_H^1$	0,52	-0,08	0,44	0,36	0,41	0,31	0,40	0,46	0,36	0,61	-0,05	-0,07	-0,02	0,36	0,33
$I_m^{СКВ}$	0,68	0,63	0,01	0,44	-0,18	0,07	0,45	0,66	-0,22	0,78	0,58	0,02	-0,36	-0,02	0,70
$I_m^c$	0,83	0,96	0,13	0,69	0,16	0,66	0,29	0,76	0,40	0,88	0,44	-0,32	-0,29	0,33	

Зависимость  $I_m^c$  от фактора  $L_H^3$  отсутствовала для суммарного газовыделения ( $r = 0,18$ ), что указывает на влияние других дополнительных факторов.

Начало увеличения газовыделения на выемочных участках происходило при удалении  $I_H^1$  очистных забоев от разрезов печей на расстояния  $6 \div 87$  м, которые обратно пропорционально зависели от газоносности ( $q$ ) разрабатываемых пластов ( $r = -0,82$ ).

Максимальное газовыделение в скважины  $I_m^{ckb}$  тесно связано с суммарным, экспериментально определенным, газовыделением  $I_m^c$  ( $r = 0,70$ ). Это указывает на то, что на выемочных участках происходило параллельное увеличение газовыделения как в скважины, так и в целом на выемочном участке. Такая ситуация подтверждается непосредственными экспериментальными данными [4], когда с увеличением газовыделения в скважины наблюдался рост метановыделения в горные выработки. Теснота связи между этими факторами характеризовалась высоким коэффициентом корреляции ( $r=0,82$ ), что подтверждает неслучайный характер таких зависимостей.

К случайному совпадению для рассматриваемой выборки следует отнести зависимость ( $r = 0,86$ ), мощности разрабатываемых пластов от глубины ведения очистных работ ( $H$ ).

В свою очередь проведенный анализ подтвердил результаты работ [5, 6] о преимущественном влиянии глубины ( $H$ ) на размеры очистной выработки ( $L_H^3$ ), при которой начинается сдвигание земной поверхности ( $r = 0,75$ ).

Заслуживает внимания влияние общих размеров выработанного пространства ( $B$ ) на значения параметров максимального газовыделения ( $I_m$  и  $I_m^c$ ). Для этих зависимостей коэффициенты корреляции соот-

ветственно равны 0,75 и 0,66. Это подтверждает существенное влияние развития очистных работ в пределах всего шахтного поля на активизацию сдвижения пород и дополнительное выделение газа из подрабатываемых источников. Такое влияние ( $B$ ) на уровень газовыделения в дегазационные скважины ( $I_m^{ckb}$ ) выемочных участков не установлено ( $r = 0,07$ ). Максимум газовыделения в участковые скважины ( $I_m^{ckb}$ ) в значительной степени определялись нагрузкой на очистные забои  $A_m$  или  $A_m^{\phi}$ . Для этих зависимостей значения  $r$  соответственно равны 0,68 и 0,78.

С развитием очистных работ в шахтном поле ( $B$ ) наблюдается некоторая тенденция к уменьшению параметров  $I_H^1$ ,  $I_m^{ckb}$ ,  $I_m^c$ . Зависимость этих параметров от  $B$  носит обратно пропорциональный характер, которому соответствуют отрицательные коэффициенты корреляции -0,43, -0,26 и -0,59. Такая направленность зависимости  $I_m^{ckb}$  и  $I_m^c$  установлена и непосредственными наблюдениями в угольных шахтах [7].

О степени тесноты корреляционных зависимостей между остальными параметрами можно судить по абсолютной величине коэффициентов корреляции (табл. 2).

**На основании проведенных исследований сделаны следующие выводы:**

- установлена практически функциональная связь  $r = 0,94 \div 0,96$  между эмпирическими коэффициентами  $A_m$ ,  $I_m$  уравнений 1, 2 соответственно с экспериментально установленными значениями максимальной добычи угля  $A_m^{\phi}$  и суммарного газовыделения  $I_m^c$ . Это дает основание использовать эмпирические коэффициенты  $A_m$  и  $I_m$  уравнений 1, 2 в

инженерных расчетах для определения прогнозируемых значений  $A_m^{\phi}$  и  $I_m^c$ ;

- выявлена высокая корреляционная зависимость  $r = 0,82$  эмпирического коэффициента  $I_m^c$  уравнения 2 от коэффициента

$A_m$  уравнения 1, что позволяет по изменению уровня добычи угля в начальный период эксплуатации выемочного участка прогнозировать динамику газовыделения из подрабатываемой углепородной толщи;

- максимальное газовыделение в скважины происходит после достижения процессами сдвижения пород земной поверхности при удалении очистного забоя от разрезной печи  $l_m^{скв}$  на расстояние равное  $L_H^3$  ( $r = 0,84$ );

- суммарное максимальное газовыделение  $I_m^c$  происходило при удалении очистных забоев от разрезных печей на расстояние  $l_m^c = 66 \div 464$  м. Параметр  $l_m^c$  практически не зависел от  $L_H^3$  ( $r = 0,18$ ), что указывает на влияние других, более существенных факторов;

- эмпирический коэффициент  $I_m$  уравнения 2, характеризующий максимальный уровень суммарного газовыделения, в значительной степени определялся развитием очистных работ ( $B$ ) в крыле шахтного поля ( $r = 0,75$ );

- начало увеличения газовыделения происходило при удалении  $l_H^1$  очистных забоев от разрезных печей на расстояние  $6 \div 87$  м. одним из основных факторов, определяющих  $l_H^1$ , при прочих равных условиях, является газоносность разрабатываемых пластов  $r = - 0,82$ ;

- увеличение суммарного газовыделения может приводить к росту метановыделения как в скважины, так и в горные выработки крыла шахтного поля;

- корреляционный анализ подтвердил ранее полученные выводы о том, что главным влияющим на сдвижение земной поверхности фактором является глубина ( $H$ ) ведения очистных работ ( $r = 0,75$ ).

### Бibliографический список

1. Филатъев М. В. Теоретические и практические положения прогноза динамики газовыделения из подрабатываемых угольных пластов и вмещающих пород / М.В. Филатъев, Н.И. Антощенко, Ю.Ю. Крыжановский // Сборник научных трудов ДонГТУ. – 2014. – №2(43). – С. 4–11.
2. Чепурная Л.А. Определение условий начала сдвижения земной поверхности при отработке угольных пластов / Л.А. Чепурная, М.В. Филатъев, Н.И. Антощенко // Уголь Украины. – 2014. – №4. – С. 7–8.
3. Бокий Б.В. Перспектива извлечения метана из техногенных скоплений / Б.В. Бокий, О.И. Касимов // Уголь Украины. – 2005. – №5. – С. 17–21.
4. Крыжановский Ю.Ю. Соотношение метановыделения в выработки и дегазационные скважины при отработке газоносных пластов / Ю.Ю. Крыжановский, Н.И. Антощенко, М.В. Филатъев, Р.Л. Гасюк // Сборник научных трудов ДонГТУ. – 2014. – №1(42). – С. 60–67.
5. Ягунов А.С. Исследование влияния высоких скоростей подвигания очистного забоя на характер и параметры процесса сдвижения земной поверхности / А.С. Ягунов // Вестник научного центра по безопасности в угольной промышленности. – 2007. – №2. – С. 36–43.
6. Филатъев М.В. Влияние глубины ведения очистных работ на сдвижение земной поверхности / М.В. Филатъев, Н.И. Антощенко, С.В. Пыжов // Сборник научных трудов ДонГТУ. – Лисичанск. – 2015. – №1(44). – С. 29–34.

7. Крыжановский Ю.Ю. Влияние первичных осадок основной кровли и развития очистных работ на максимум метановыделения в угольных шахтах / Ю.Ю. Крыжановский, Н.И. Антощенко, М.В. Филатьев, С.И. Кулакова // Сборник научных трудов МакННН. Способы и средства создания безопасных условий труда в угольных шахтах. – Макеевка. – МакННН. – №2(32). – 2014. – С. 77–89.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. ДонГТУ Окаленовым В. Н.,  
д.т.н., проф. Бондаренко В. И.*

*Статья поступила в редакцию 17.02.2017*

**к.т.н. Філат'єв М. В., д.т.н. Антощенко М. І. (ДонДТУ, м. Лисичанськ, Україна)**

### **ЗАЛЕЖНІСТЬ ПАРАМЕТРІВ ДИНАМІКИ ГАЗОВИДІЛЕННЯ З ВУГЛЕПОРОДНОЇ ТОВЩІ, ЩО ПІДРОБЛЯЄТЬСЯ, ВІД ВПЛИВАЮЧИХ ЧИННИКІВ**

*Розглянута залежність емпіричних коефіцієнтів видобутку вугілля і рівня газовиділення від впливаючих чинників. Встановлені кореляційні зв'язки між цими коефіцієнтами і гірничо-геологічними, гірничотехнічними умовами і характерними параметрами динаміки газовиділення.*

**Ключові слова:** видобуток вугілля, газовиділення, коефіцієнт кореляції, розмір виробленого простору.

**PhD (Engineering) Filatyev M. V., Full Doctor (Engineering) Antoshchenko M. I.**

*(DonSTU, Lisichansk, Ukraine)*

### **THE DEPENDENCE OF THE PARAMETERS OF THE DYNAMICS OF GAS RELEASE FROM THE UNDERMINED COAL MASS STRATA OF THE INFLUENCING FACTORS**

*In this article was considered dependence of the empirical coefficients of coal and gas emission levels by influencing factors. It was established correlation between the empirical coefficients and geological, mining conditions and the characteristic parameters of the dynamics of the evolution of gas.*

**Keywords:** coal, gas evolution, the correlation coefficient, the size gob.