

*д.т.н. Антощенко Н.И.,  
д.т.н. Окалелов В.Н.,  
Кулакова С.И.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

## **МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯ В СКВАЖИНЫ ПРИ ОТХОДЕ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ ОТ РАЗРЕЗНОЙ ВЫРАБОТКИ**

*Наведений механізм виникнення і розвитку газовиділення в свердловини при віддалені очисного вибою від розрізної виробки, що враховує параметри розвитку очисних робіт, процеси зрушення підроблених порід і десорбцію метану з вугілля суміжних пластів.*

***Ключові слова:** газовиділення, дегазація, свердловини, процеси зрушення підроблених порід, швидкість посування очисного вибою.*

*Представлен механізм виникнення і розвитку газовиділення в скважини при удаленні очисного забоя от разрезной выработки, учитывающий параметры развития очистных работ, процессы сдвижения подработанных пород и десорбцию метана из угля сближенных пластов.*

***Ключевые слова:** газовыделение, дегазация, скважины, процессы сдвижения подработанных пород, скорость подвигания очистного забоя.*

Наиболее ответственным периодом, с точки зрения безопасной отработки газоносных угольных пластов, является начало эксплуатации выемочного участка при отходе его забоя от разрезной выработки. В этот период достигается, как правило, абсолютное максимальное газовыделение в выработки и дегазационные скважины. Основным способом борьбы с метановыделением в рассматриваемом случае является бурение дегазационных скважин над разрезной выработкой до подрабатываемых сближенных пластов. До настоящего времени недостаточно изучен механизм формирования газовыделения в скважины указанной группы. Такая ситуация затрудняет принимать научно-обоснованные решения при проектировании дегазационных систем и обеспечивать безопасные условия по газовому фактору в горных выработках. По этой причине актуальность рассматриваемого вопроса не вызывает сомнений.

Целью работы является обоснование механизма формирования динамики газовыделения в скважины на основе обобщений современных представлений о взаимосвязи геомеханических и десорбционных процессов при отработке выемочных участков и проверка их достоверности на базе экспериментального материала.

Идея состоит в совместном рассмотрении газовыделения в скважины с процессами сдвижения подработанных пород в направлении к земной поверхности и в сторону подвигания очистного забоя.

Часть научных положений, принятых для разработки механизма, базируется на известных экспериментальных данных. Согласно [1] принято, что газовыделение в скважины начинается при отходе очистного забоя на некоторое расстояние ( $L_n$ ) от разрезной выработки. Из анализа влияния скорости подвигания очистного забоя ( $v_{оч}$ ) на газовыделение в скважины [2] следует, что максимум метановыделения будет находиться примерно на одном расстоянии ( $L_m$ ) от разрезной выработки для разных значений  $v_{оч}$ . По методике нормативного документа [3] более высокий уровень газовыделения прогнозируется при больших скоростях подвигания очистного забоя (добычи угля).

Вторая часть научных положений, принята на основании современных представлений о геомеханических процессах сдвижения подработанных пород [4] и десорбции газа из угля сближенных пластов [5]. Они заключаются в следующем:

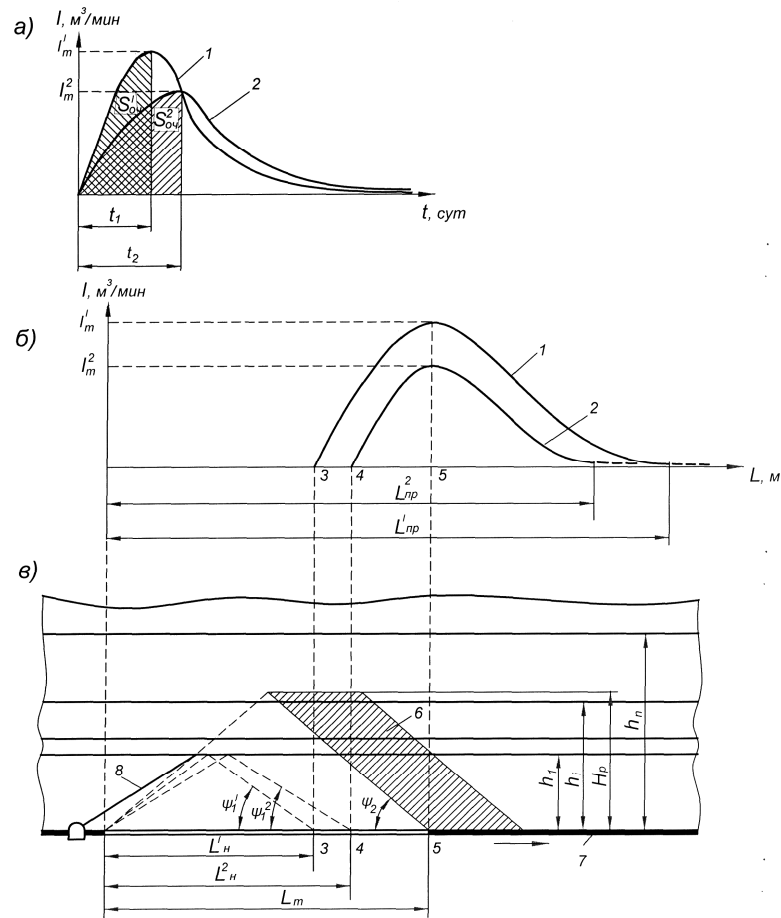
- при более высоких скоростях подвигания очистного забоя, вследствие интенсивного сдвижения подработанных пород, начало газовыделения в скважины, при прочих равных условиях, происходит на меньшем расстоянии между удаляющимся забоем и разрезной выработкой;
- общее количество выделившегося газа до достижения максимума метановыделения при разных скоростях подвигания очистных забоев могут быть равны между собой по причине равенства параметра  $L_m$ . При этом не исключается вариант отвода большего количества метана при меньших скоростях подвигания очистного забоя за счет увеличения времени дегазации источников;
- после достижения абсолютного максимума метановыделения происходит снижение газовыделения согласно кривой десорбции газа из угля сближенных пластов на стадии затухания этих процессов. Для одних горно-геологических условий можно предположить, что при разных скоростях подвигания очистных забоев снижение газовыделения будет происходить по близким между собой закономерностям.

Принятые при обосновании механизма научные положения для разных скоростей подвигания очистных забоев ( $v'_{оч}$  и  $v_{оч}^2$ ) представлены в виде графика изменения газовыделения во времени (рисунок 1,а) и от расстояния между очистным забоем и разрезной выработкой (рисунок 1,б), совмещенным с вертикальным разрезом углепородной толщи (рисунок 1,в).

Из сравнения графиков газовыделения во времени и пространстве (рисунок 1, а и б) видно, что эти зависимости при разных скоростях подвигания очистных забоев существенно отличаются между собой по расположению относительно друг друга и по характеру кривых, описывающих процессы газовыделения. Это свидетельствует о неоднозначном влиянии нескольких факторов на разных стадиях протекания процессов газовыделения и сдвижения подработанных пород. Из принятых положений следует, что до начала газовыделения происходят только процессы сдвижения подработанных пород, которые развиваются вместе с подвиганием очистного забоя, а также распространяются в сторону земной поверхности.

Начальное газовыделение из первого сближенного пласта происходит, если он попадает в разгруженную от горного давления зону, в которой образуются газопроводящие трещины. Такая ситуация должна наблюдаться на малом расстоянии ( $L'_н$ ) между забоем и разрезной выработкой при высоких скоростях подвигания очистного забоя ( $v'_{оч}$ ), которая обуславливает более интенсивные процессы сдвижения подработанных пород. Снижение скорости подвигания до  $v_{оч}^2$  вызовет увеличение расстояния до  $L_n^2$  вследствие снижения интенсивности сдвижения подработанных пород как непосредственно над очистным забоем, так и при развитии процессов в сторону земной поверхности. Стадия увеличения газовыделения в скважины определяется влиянием, как минимум, двух взаимосвязанных процессов. Эти процессы характеризуются параметрами сдвижения подработанных пород и десорбции метана во времени из увеличивающихся объемов угля сближенных пластов, которые попадают в разгруженную от горного давления зону.

Развитие процессов сдвижения подработанных пород для разных скоростей  $v'_{оч}$  и  $v_{оч}^2$  характеризуется соответственно углами полных сдвижений  $\psi'_1$  и  $\psi_1^2$ . По абсолютной величине, исходя из физических представлений,  $\psi'_1 > \psi_1^2$ .



а) – изменение газовыделения в скважины во времени ( $t$ ) за весь период их эксплуатации; б) – график газовыделения в зависимости от расстояния ( $L$ ) между очистным забоем и разрезной выработкой, совмещённый с вертикальным разрезом углепородной толщи; в) – разрез углепородной толщи; 1, 2 – кривые изменения газовыделения соответственно при скорости подвигания очистных забоев  $v'_{оч}$  и  $v^2_{оч}$ ; 3, 4 – положение очистных забоев при начальном газовыделении в скважины соответственно при скоростях их подвигания  $v'_{оч}$  и  $v^2_{оч}$ ; 5 – положение очистных забоев при достижении максимума газовыделения; 6 – зона подработанных пород, из которой затруднено движение газа к скважинам; 7 – разрабатываемый пласт; 8 – дегазационные скважины, пробуренные над разрезными выработками;  $t_1, t_2$  – период времени достижения максимума газовыделения соответственно при скорости подвигания очистных забоев  $v'_{оч}$  и  $v^2_{оч}$ ;  $S'_{оч}, S^2_{оч}$  – площади, характеризующие количество выделившегося газа при достижении соответственно значений  $I'_m, I^2_m$ ;  $h_1, h_i$  – расстояния от разрабатываемого пласта соответственно до первого и последнего сближенных пластов, расположенных на расстоянии менее  $H_p$ ;  $h_n$  – расстояние до сближенного пласта, из которого не происходит газовыделение ( $h_n > H_p$ );  $\rightarrow$  – направление подвигания очистного забоя

Рисунок 1 – Схема формирования газовыделения в скважины и процессов сдвижения пород при удалении очистного забоя от разрезной выработки

Чем выше скорость подвигания очистного забоя  $v'_{оч}$ , тем ближе значение  $\psi_1'$  приближается к предельной его величине  $\psi_2$ , характерной для конкретных горно-геологических условий. При достижении абсолютных максимумов газовыделения ( $I_m'$  и  $I_m^2$ ) и удалении очистных забоев от разрезных выработок в обоих случаях на расстояние  $L_m$  происходит формирование углов полных сдвижений, близких к окончательному его значению  $\psi_2$ .

После достижения максимумов газовыделения формируется возможная зона влияния очистных выработок в сторону земной поверхности на процессы десорбции метана из подработанных сближенных пластов. Эта зона характеризуется предельным расстоянием  $H_p$  (рисунок 1, в) от разрабатываемого пласта, на котором газовыделение из сближенных пластов практически равно нулю [3]. По указанной причине дальнейшее подвигание очистного забоя уже не приводит к увеличению газовыделения из сближенных пластов, расположенных далее величины  $H_p$ . Дополнительный приток метана в скважины в этот период возможен из сближенных пластов, расположенных в пределах расстояния  $H_p$ , за счет разгрузки от горного давления дополнительных объемов угля сближенных пластов непосредственно над движущимся очистным забоем. Удаление очистного забоя на расстояние более  $L_m$  приводит к сокращению расхода метана в скважины за счет увеличения сопротивления движению газа из указанной разгруженной от горного давления зоны б (рисунок 1, в). На основании изложенного следует, что после достижения максимума процессы газовыделения определяются затухающей десорбцией метана из угля сближенных пластов и уменьшением влияния сдвижения пород непосредственно над движущимся очистным забоем.

Влияние расстояния между очистными забоями и разрезными выработками на газовыделение в скважины практически прекратится, для разных скоростей  $v'_{оч}$  и  $v_{оч}^2$ , при удалении забоев соответственно на предельные расстояния  $L'_{np}$  и  $L_{np}^2$  (рисунок 1, б). По этой причине и вследствие снижения метановыделения до незначительной величины в этот период появляется необходимость отключения скважин от дегазационной системы.

Согласно разработанного механизма формирования газовыделения можно выделить три характерных периода отработки выемочных участков и эксплуатации дегазационных скважин:

– развитие только процессов сдвижения подработанных пород до начала газовыделения из первого близкорасположенного пласта;

– рост газовыделения до максимального за счет увеличения геометрических объемов источников и развития процессов десорбции метана из угля сближенных пластов;

– сокращение газовыделения в скважины при затухании процессов десорбции из угля сближенных пластов и уменьшение влияния удаляющегося очистного забоя на интенсивность сдвижения пород в зоне расположения скважин.

Для подтверждения достоверности принятых при разработке механизма научных положений и гипотез рассмотрели изменение фактических параметров газовыделения в скважины рассматриваемой группы при отработке 2-й бис и 3-й западных лав пласта  $I_2^6$  шахты им. газеты «Известия» ГП «Донбассантрацит». Экспериментальные данные получены для всех трех характерных периодов отработки выемочных участков и эксплуатации скважин (таблица).

Лавы отрабатывались, практически в одинаковых горно-геологических условиях (рисунок 2). Отличие заключалось только в скорости подвигания очистных забоев. Изменение параметров газовыделения были обусловлены, в основном, влиянием этого фактора на протекание процессов сдвижения пород и десорбции газа из угля сближенных пластов.

Сравнение фактических графиков изменения газовыделения во времени (рисунок 3, а) и от расстояния между очистными забоями и разрезными выработками (рисунок 3, б) с характером изменения кривых газовыделения согласно схемы (рисунок 1, а и б) подтверждают соответствие принятых научных положений о начале газовыделения, достижении его максимума, а затем снижения метановыделения до незначительных величин.

Экспериментально подтвердилось, что начало газовыделения в скважины происходит на меньшем расстоянии между разрезной выработкой и очистным забоем при более высокой скорости его подвигания (таблица). Достижение абсолютного максимума газовыделения на участках обоих лав было достигнуто примерно при одинаковом удалении очистных забоев от разрезных выработок. Для 3-й и 2-бис западных лав отход очистных забоев соответственно составил 114 и 119м. Близкое расположение кривых 3, 4 снижения газовыделения после достижения абсолютных максимумов (рисунок 3,а) свидетельствует о том, что на этой стадии эксплуатации скважин скорость подвигания очистных забоев практически не оказывает влияние на изменение газовыделения. Главным фактором в этот период является десорбция газа из угля сближенных пластов на стадии затухания процесса метановыделения.

Таблица – Сведения об условиях эксплуатации очистных забоев и газовойделении в дегазационные скважины на участках 3-й и 2-й бис западных лав шахты им. газеты “Известия” ГП “Донбассантрацит” при отработке пласта  $l_2^6$ .

Период эксплуатации дегазационных скважин	3-я западная лава							2-я бис западная лава						
	Скорость подвигания очистного забоя, м/сут	Подвигание очистного забоя, м	Длительность рассматриваемого периода, сут	Площадь выработанного пространства, тыс.м <sup>2</sup>	Максимальное газовыделение в скважины м <sup>3</sup> /мин	Среднее газовыделение в скважины, м <sup>3</sup> /мин	Общее количество выделенного газа, тыс.м <sup>3</sup>	Скорость подвигания очистного забоя, м/сут	Подвигание очистного забоя, м	Длительность рассматриваемого периода, сут	Площадь выработанного пространства, тыс.м <sup>2</sup>	Максимальное газовыделение в скважины м <sup>3</sup> /мин	Среднее газовыделение в скважины, м <sup>3</sup> /мин	Общее количество выделенного газа, тыс. м <sup>3</sup>
После начала очистных работ до газовойделения в скважины	2,1	67	32	13,7	0	0	0	1,7	85	50	15,7	0	0	0
От начала газовойделения до достижения максимального уровня	2,4	47	20	9,6	24,8	19,8	600,8	0,6	34	54	6,3	18,4	13,0	1075,4
Снижение газовыделения от максимального значения до отключения скважин	3,0	555	185	113,8	–	9,0	2168,1	0,5	145	273	26,8	–	5,3	2118,1
От начала очистных работ до отключения скважин	2,8	669	237	137,1	24,8	11,7	2768,9	0,7	264	377	48,8	18,4	6,9	3193,5

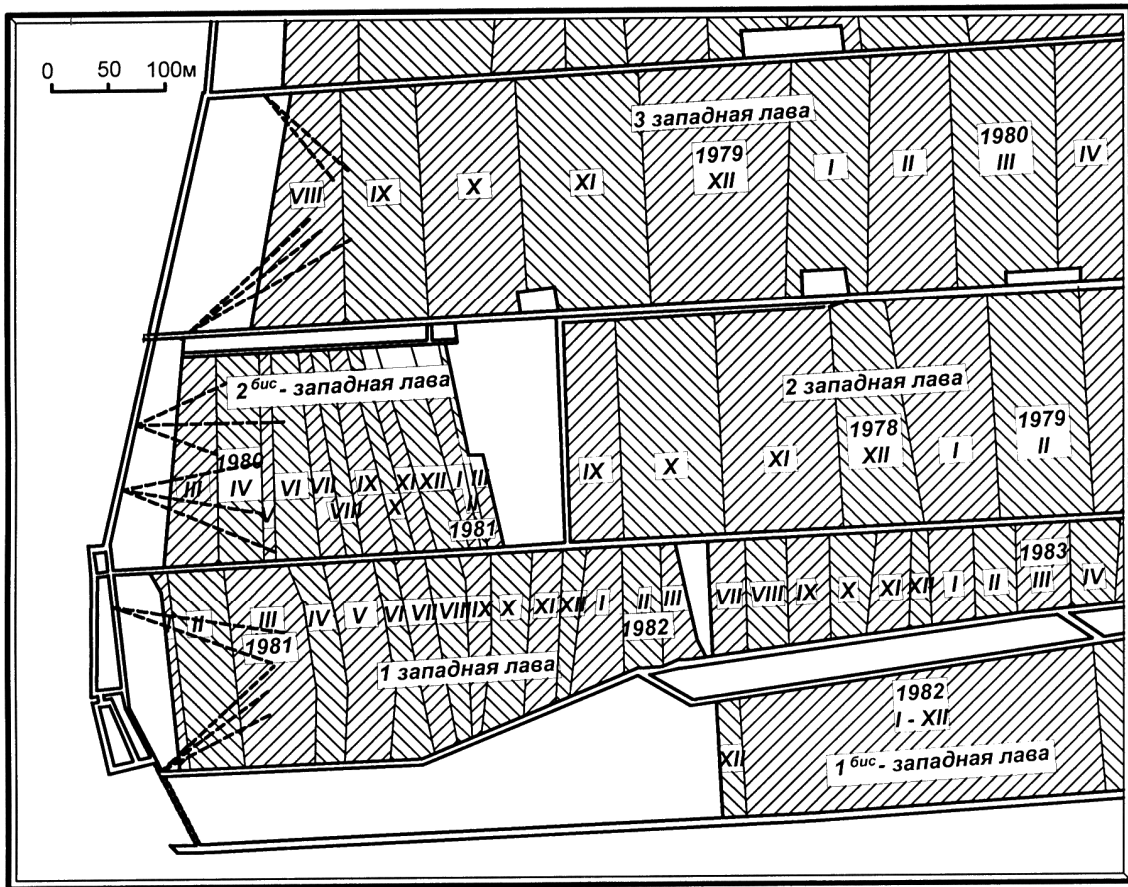
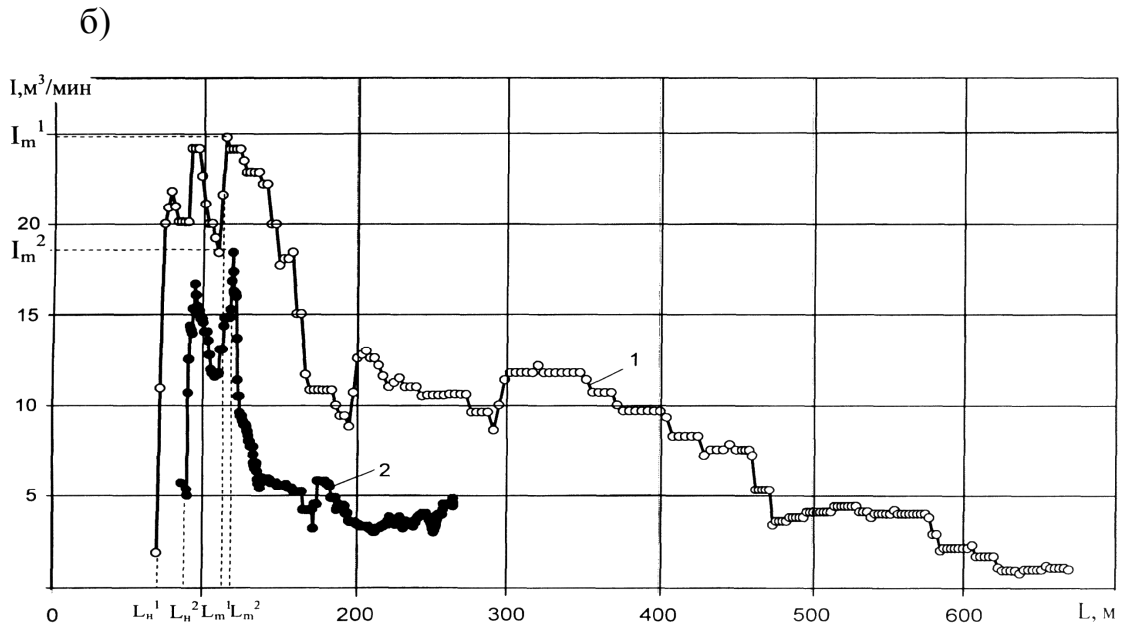
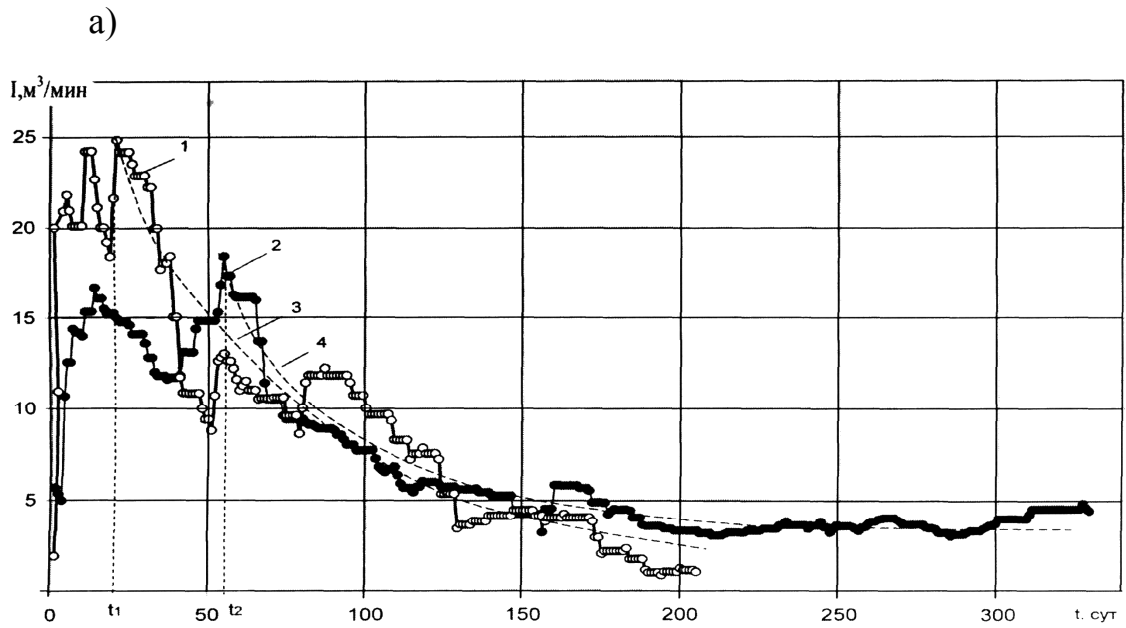


Рисунок 2 – Фрагмент плана горных работ по пласту  $\ell_2^6$  шахты им. газеты “Известия” ГП “Донбассантрацит”

Разработанный механизм позволил определить углы полных сдвижений подработанных пород ( $\psi_1^1, \psi_1^2$ ) для рассматриваемых горно-геологических условий с учетом влияния скорости подвигания очистных забоев. Эти углы рассчитали исходя из удаленности (32м) первого сближенного пласта  $l_3$  от разрабатываемого и расстояний  $L_n^1$  и  $L_n^2$ , характеризующих начало газовыделения в скважины (рисунок 1, 3 и таблица). Углы полных сдвижений на начальной стадии развития процессов десорбции газа и сдвижения подработанных пород для 3-й и 2-бис западных лав были соответственно равны  $44^0$  и  $37^0$ . Для рассматриваемых горно-геологических условий согласно нормативным документам [6, 7], при достаточном развитии очистных работ, угол полных сдвижений равен  $55^0$ .





- 1,2 – кривые изменения газовыделения соответственно в скважины 3-й и 2-й бис западных лав;  
 3,4 – осредняющие кривые снижения газовыделения после достижения абсолютного максимума соответственно на участках 3-й и 2-й западных лав;  
 ○, ● – экспериментальные данные (остальные условные обозначения рисунок 1).

Рисунок 3 – Изменение метановыделения ( $I$ ) в дегазационные скважины от времени ( $t$ ) их эксплуатации (а) и расстояния ( $L$ ) между разрезными выработками и очистными забоями (б) выемочных участках шахты им. газеты “Известия” ГП “Донбассантрацит”

Приведенные данные подтверждают положение о том, что чем выше скорость подвигания очистного забоя, тем ближе значения углов  $\psi_1'$  и  $\psi_1''$  к предельной его величине. Исходя из физических представлений и геометрических построений следует, что практически окончательное формирование углов полных сдвижений ( $\psi_2$ ) происходит после достижения абсолютного максимума газовыделения.

Согласно экспериментальным данным было установлено, что при незначительных скоростях подвигания очистных забоев происходит более глубокая дегазация сближенных пластов. За весь период эксплуатации скважин на участке 2-бис западной лавы при средней скорости подвигания очистного забоя 0,7 м/сут с каждого квадратного метра выработанного пространства было отведено 65,4 м<sup>3</sup> метана. При средней скорости подвигания очистного забоя 3-й западной лавы 2,8 м/сут этот показатель составил лишь 20,2 м<sup>3</sup>.

На стадии достижения абсолютного максимума метановыделения не подтвердилось положение о равенстве объемов газа, выделившегося в скважины, вследствие одинаковых значений параметра  $L_m$  для разных скоростей подвигания очистных забоев. При скорости подвигания очистного забоя 2-й бис западной лавы 0,6 м/сут в скважины поступило 1075,4 тыс. м<sup>3</sup> газа, а в скважины 3-й западной лавы при скорости 2,4 м/сут только 600,8 тыс. м<sup>3</sup>. Это свидетельствует о существенном влиянии скорости подвигания очистного забоя на глубину дегазации сближенных пластов. Все остальные положения, принятые при обосновании динамики газовыделения, были подтверждены результатами шахтных наблюдений.

Предложенный механизм формирования газовыделения в скважины при отходе очистного забоя от разрезной выработки увязывает газовыделение во времени и пространстве с конкретными параметрами ведения очистных работ, а также с процессами сдвижения подработанных пород и десорбции метана из угля сближенных пластов. Это позволит на его основе разработать прогноз динамики газовыделения в начальный период эксплуатации выемочных участков.

### **Библиографический список**

1. Антощенко Н.И. Об эффективности дегазационных скважин при первичных посадках кровли / Н.И. Антощенко, М.В. Павлив // Уголь Украины. – 1987. - №2. – С. 40-41.

2. Касимов О.И. Влияние скорости подвигания очистных забоев на эффективность дегазации подработанных пластов / О.И. Касимов, Н.И. Антощенко // Способы безопасного ведения взрывных работ и

*борьба с выбросами в угольных шахтах: сборник научных трудов Мак-ННН.: Макеевка-Донбасс, 1983. – С. 58-65.*

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

4. *Гавриленко Ю.Н. Прогнозирование смещений земной поверхности во времени / Ю.Н. Гавриленко// Уголь Украины. – 2011. - №6. – С. 45-49.*

5. *Природные опасности в шахтах, способы их контроля и предотвращения / Е.Ф. Карпов [и др.]; под ред. Ф.С. Клебанова. – М.: Недра, 1981. – 471с.*

6. *Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях / Министерство угольной промышленности СССР – М.: Недра, 1981.– 282 с.*

7. *Правила підробки будівель, споруд і природних об'єктів при видобуванні вугілля підземним способом. Видання офіційне. Мінпаливенерго України: ГСТУ 101.00159226.001-2003.– Київ.: 2004. – 128 с.– (Галузевий стандарт України).*

***Рекомендовано к печати д.т.н., проф. Фрумкиным Р.А.***