

*инж. Харин Е.Н.  
(Луганский областной совет, г. Луганск, Украина),  
д.т.н. Антощенко Н.И., Гасюк Р.Л.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

## **ПРОГНОЗ ДИНАМИКИ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯ ИЗ ПОДРАБОТАННЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ И ПОРОД ПОСЛЕ ПРЕКРАЩЕНИЯ ОЧИСТНЫХ РАБОТ**

*На підставі узагальнення результатів теоретичних та експериментальних процесів розвитку очисних робіт, зсування підроблених порід і десорбції газу з вугілля та порід розроблені загальні науково-обґрунтовані положення методики прогнозу динаміки газовиділення з підробленого масиву при експлуатації виїмкової ділянки та після її зупинки.*

**Ключові слова:** *прогноз, газовиділення, десорбція, осідання основної покрівлі, виїмкова ділянка.*

*На основании обобщения результатов теоретических и экспериментальных исследований процессов развития очистных работ, сдвижения подработанных пород и десорбции газа из угля и пород разработаны общие научно-обоснованные положения методики прогноза динамики газовыделения из подработанного массива при эксплуатации выемочного участка и после его остановки.*

**Ключевые слова:** *прогноз, газовыделение, десорбция, осадка основной кровли, выемочный участок.*

До настоящего времени не разработан научно-обоснованный прогноз метановыделения после прекращения очистных работ на выемочном участке. Для таких случаев имеются общие рекомендации [1], которые не отражают суть происходящих процессов газовыделения после остановки очистного забоя. Предлагается на период демонтажа оборудования уровень газовыделения принимать 50% по сравнению с метановыделением при эксплуатации выемочного участка. При таком подходе не учитываются отличия между уровнем и длительностью газовыделения из разных источников, имеющих на выемочном участке. Например, наиболее интенсивно газовыделение из отбитого угля происходит непосредственно в призабойном пространстве лавы. По истечении 10-15 минут большая часть метана выделяется из угля и дальнейшая его дегазация не приводит к увеличению дебита метана в выработку [2]. При добыче до 1000 т/сут доля газовыделения в рабочее пространство лавы из отбитого угля оценивается в 15÷30% [3]. Это свидетельствует о преимущественном газовыделении с обнаженной поверхности

очистного забоя. Суммарное же газовыделение из отбитого угля и обнаженной поверхности очистного забоя, как правило, составляет не более 10÷20% в общем газовом балансе выемочного участка.

Основное газовыделение (до 90% и более) в большинстве случаев происходит из подрабатываемых пластов и пород. Газовыделение из выработанных пространств ранее отработанных лав длится десятки лет [4]. Продолжительное газовыделение из выработанного пространства по мере развития очистных работ в шахтном поле вызвано постепенной разгрузкой сближенных пластов от горного давления, степень которой определяется процессами сдвижения пород во времени. Если очистные работы ведутся в смежных лавах, то процесс газовыделения происходит более продолжительное время и обусловлен активизацией сдвижения подработанных пород под влиянием отработки нескольких лав. Повторное сдвижение пород (активизация) происходит до тех пор, пока производятся очистные работы в смежных лавах или отрабатываются сближенные пласты в одном крыле шахтного поля. Это подтверждается поступлением

газа в вентиляционные выработки из участков, отработанных 10÷20 лет назад [5].

Приведенный анализ, исходя из уровня и длительности газовыделения из источников, свидетельствует об актуальности вопросов, связанных с газовыделением из подработанных угольных пластов и пород после остановки очистного забоя.

Целью работы является разработка основных научных положений способа прогноза изменения газовыделения во времени из подработанных угольных пластов и пород после прекращения очистных работ на выемочном участке.

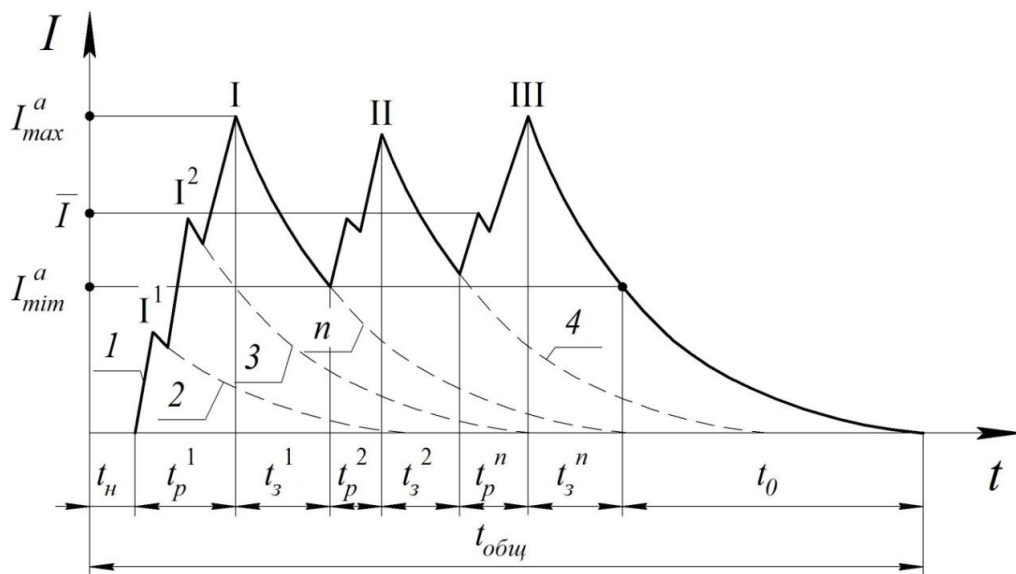
Идея состоит в использовании для достижения поставленной цели современных представлений о формах нахождения газа в угле (породах) и в совместном рассмотрении зависимости метановыделения от степени развития очистных работ на выемочном участке, интенсивности добычи угля, процессов сдвижения пород и десорбции газа из подработанных угольных пластов и пород.

Отправным моментом для решения поставленной задачи является знание характера изменения кривой динамики газовыделения из подрабатываемых пластов и пород на протяжении всего периода эксплуатации выемочного участка. На основании экспериментальных данных о газовыделении в дегазационные скважины [6] и научных положений, принятых при разработке физико-математической модели [7] кривую динамики газовыделения при развитии очистных работ можно представить графиком (рис.1).

Формирование кривой динамики газовыделения происходит на разных стадиях отработки выемочного участка. Первая стадия характеризуется началом очистных работ по добыче угля и отходом забоя от разрезной печи. Через промежуток времени ( $t_n$ ) после начала очистных работ процессы сдвижения подработанных пород распространяются до наиболее близкорасположенного от разрабатываемого пласта источника. Происходит рост газовыделения из этого источника до некоторого зна-

чения ( $\Gamma^1$ ), а затем наблюдается его снижение. Периодическое увеличение и снижение газовыделения связано с последовательной разгрузкой от горного давления новых источников газовыделения (угольных пластов и газоносных пород) и десорбции метана из них. Рост газовыделения до достижения первого абсолютного максимума  $I_{max}^a$  продолжается на протяжении промежутка времени  $t_p^1$ . Это свидетельствует, что в зону дегазации попали все возможные источники газовыделения, расположенные в подрабатываемом массиве на некотором удалении  $H_p$  от разрабатываемого пласта. Снижение уровня газовыделения в течение времени  $t_3^1$  характеризует затухание процессов десорбции и указывает на то, что в зону дегазации не попадают новые объёмы угля подрабатываемых пластов и газоносных пород.

Очередное увеличение газовыделения и достижение его второго абсолютного максимума газовыделения (II) происходит под влиянием удаляющегося забоя от разрезной печи и связано, в основном, с развитием очистных работ. При дальнейшей работе выемочного участка наблюдается колебание газовыделения от абсолютных минимальных значений  $I_{min}^a$  до максимальных величин  $I_{max}^a$ . Абсолютные значения параметров  $I_{min}^a$  и  $I_{max}^a$  определяются интенсивностью процессов сдвижения подработанных пород, которые, в свою очередь, зависят от скорости  $V_{оч}$  подвигания очистного забоя (добычи угля). Значение первого абсолютного максимума газовыделения (I), как правило, больше последующих (II, III и т.д.). Это вызвано особенностями первичной осадки основной кровли. При прочих равных условиях, превышение последующими абсолютными максимумами газовыделениями первого, может быть достигнуто при увеличении скорости  $V_{оч}$  подвигания очистного забоя (добычи угля) по сравнению с периодом первичной осадки основной кровли.



- 1 – кривая динамики газовыделения из подрабатываемых 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 газовыделения соответственно при первичной и последующих осадках основной кровли;

$I_{max}^a$  – абсолютный максимум газовыделения при первичной осадке основной кровли;

$I_{min}^a$  – абсолютный минимум газовыделения при задержке последующих осадок основной кровли;

$\bar{I}$  – среднее газовыделение после первичной и последующих осадках основной кровли;

$I^1, I^2$  – 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 газовыделения до достижения 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 газовыделения;

$t_0$  – период десорбции метана из источников после достижения последнего абсолютного максимума газовыделения и остановки очистного забоя;

$t_{общ}$  – общая длительность газовыделения при эксплуатации выемочного участка.

Рисунок 1 - Схема изменения динамики газовыделения ( $I$ ) из подработанных угольных пластов и пород во времени ( $t$ ) при отработке выемочного участка

Среднее газовыделение из подработанных угольных пластов и пород  $\bar{I}$  характерно для стадии стабильной работы выемочного участка после осадки основной кровли. Его значение служит одним из исходных параметров для прогноза газовыделения после остановки очистного забоя. В общем случае прекращение очистных работ может произойти на любой стадии

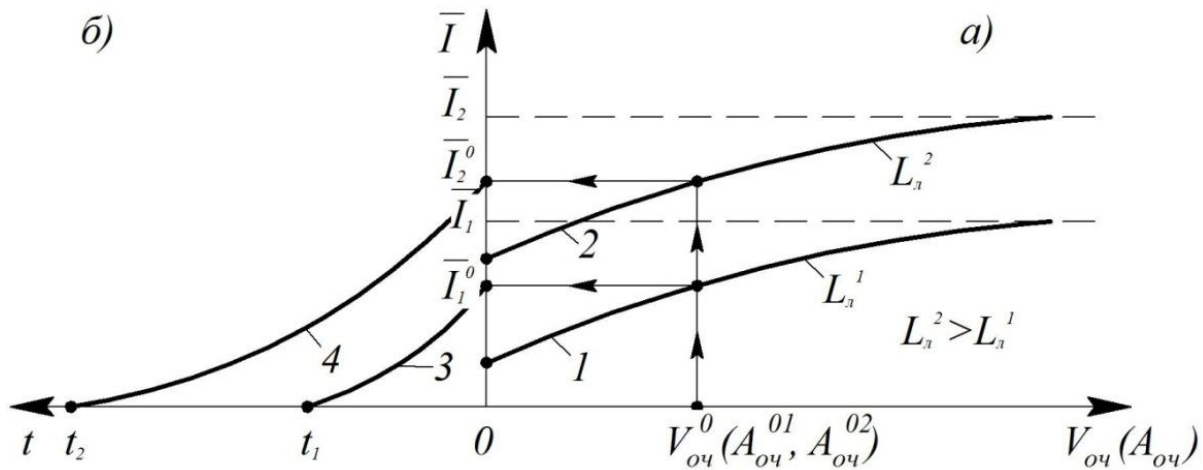
протекания процесса газовыделения после достижения очередного максимума газовыделения. В зависимости от этого события будет зависеть и начальное газовыделение из подработанных источников непосредственно после остановки очистного забоя. Если полная отработка и остановка выемочного участка совпала с достижением очередного максимума газовыделения

(III) в точке  $A$  (рис. 1), то и начальное газовыделение после прекращения очистных работ будет равно этому максимуму. В общем случае остановка очистного забоя может произойти при любом уровне газовыделения, обусловленным развитием очистных работ, процессами сдвижения подработанных пород и десорбции газа из источников. Если перед остановкой очистного забоя режим добычи угля не изменялся и он соответствовал обычной работе выемочного участка, то газовыделение после прекращения работ будет находиться между точками  $A$  и  $C$  на кривой динамики газовыделения 1. Положение точки  $B$  определяет среднее газовыделение  $\bar{I}$  для рассматриваемого режима работы выемочного участка, который характеризуется количеством добываемого угля ( $A_{оч}$ ) и (или) скоростью подвигания очистного забоя ( $V_{оч}$ ). Дальнейшее снижение газовыделения происходит согласно кривой десорбции с характерными точками  $A$  и  $D$ . Точка  $C$  соответствует минимальному абсолютному газовыделению при штатном режиме эксплуатации выемочного участка, а точка  $D$  определяет время полного прекращения газовыделения.

Экспериментально установлено, что для отдельного выемочного участка газовыделение из подрабатываемых пластов и пород ( $\bar{I}$ ) зависит от среднемесячной нагрузки ( $A_{оч}$ ) на очистной забой и (или) скорости его подвигания ( $V_{оч}$ ). Теоретически, в связи с ограниченностью запасов метана в подрабатываемых угольных пластах и газоносных породных слоях, абсолютное газовыделение имеет верхний предел [8]. Кроме интенсификации добычи угля (увеличения  $A_{оч}$  и  $V_{оч}$ ), достижение предельного значения газовыделения на выемочном участке определяется запасами метана в подрабатываемом массиве (газоносностью источников) и размерами зон влияния очистной выработки. Эти размеры характеризуют объемы угля и газоносной породы, из которых происходит метановыделение под

влиянием очистных работ. Одним из таких размеров в плоскости разрабатываемого пласта является длина лавы ( $L_{л}$ ). Ко второму линейному параметру относится размер зоны газовыделения в выработанное пространство ( $L_{г}$ ) после подработки углеродного массива. Он зависит от склонности подработанного углеродного массива сохранять газопроводящие каналы. Это свойство является функцией прочностных свойств пород ( $f$ ), мощности разрабатываемого пласта ( $m$ ), глубины ведения горных работ ( $H$ ) и времени после подработки. Для конкретного выемочного участка большинство влияющих факторов ( $f$ ,  $m$ ,  $H$ ,  $L_{л}$ ,  $L_{г}$ ), являются практически постоянными величинами. По этой причине в одних горно-геологических условиях уровень газовыделения определяется длиной очистного забоя ( $L_{л}$ ) и скоростью ( $V_{оч}$ ) его подвигания (рис.2). Чем больше длина лавы ( $L_{л}$ ), тем более значительные объемы подработанных пластов и газоносных пород попадают в зону их возможной дегазации. Разным значениям длин очистных забоев, но одинаковой скорости их подвигания, соответствуют разные уровни добычи угля. По этой причине для разных длин лав ( $L_{л}^1 < L_{л}^2$ ) и одинаковой скорости подвигания очистных забоев перед их остановкой ( $V_{оч}^0$ ), будут наблюдаться неодинаковые средние уровни газовыделения ( $\bar{I}_1^0 < \bar{I}_2^0$ ).

В период эксплуатации выемочного участка на уровень газовыделения и его колебания оказывают влияние процессы сдвижения подработанных пород и десорбции газа из источников под влиянием движущегося очистного забоя ( $V_{оч} > 0$ ). После остановки очистного забоя ( $V_{оч}^0 = 0$ ) прекращается его активное воздействие на процессы сдвижения пород. В этом случае в зону дегазации не вовлекаются новые объемы сближенных пластов и газоносных пород, и происходит плавное затухание метановыделения.

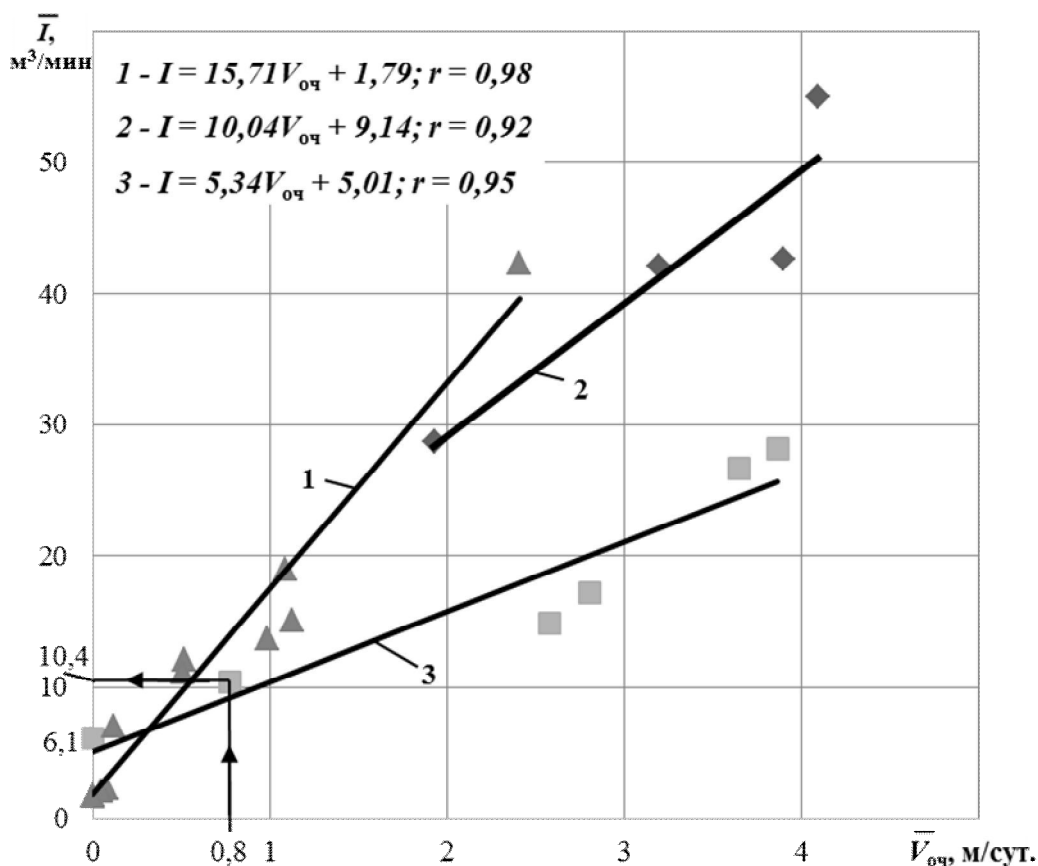


- $V_{оч}, A_{оч}$  – соответственно скорость подвигания очистного забоя и добыча угля;
- $\bar{I}_1, \bar{I}_2$  – значения предельного среднего газовыделения соответственно при длине лав  $L_n^1$  и  $L_n^2$ ;
- $V_{оч}^0 (A_{оч}^{01}, A_{оч}^{02})$  – соответственно скорость подвигания очистного забоя и добыча угля перед прекращением работ;
- $\bar{I}_1^0, \bar{I}_2^0$  – величины среднего газовыделения при остановке очистного забоя соответственно при длине лав  $L_n^1$  и  $L_n^2$ ;
- 1, 2 – кривые изменения среднего газовыделения от скорости подвигания очистного забоя  $V_{оч}$ , соответственно при длине лав  $L_n^1$  и  $L_n^2$ ;
- 3, 4 – кривые десорбции газа из подработанного массива после прекращения очистных работ соответственно при длине лав  $L_n^1$  и  $L_n^2$ ;
- $t_1, t_2$  – время десорбции газа из подработанного массива после остановки очистного забоя соответственно при длине лав  $L_n^1$  и  $L_n^2$ .

Рисунок 2 - Схема зависимости среднего газовыделения ( $\bar{I}$ ) из подрабатываемого массива от интенсивности ( $V_{оч}, A_{оч}$ ) эксплуатации выемочного участка (а) и его уменьшение во времени ( $t$ ) после прекращения работ по добыче угля (б)

Исходя из изложенных научных положений после остановки очистного забоя длительность газовыделения будет определяться его абсолютным уровнем, десорбционными и реологическими свойствами сближенных пластов и газоносных пород. Подтверждением этих положений являются экспериментальные данные, полученные при отработке лав разной длины в одних горно-геологических условиях (рис. 3). К анализу были приняты суммарные среднемесячные газовыделения в выработки и дегазационные скважины в пределах эксплуатируемых выемочных участков, а также метановыделение в выработки и скважины в границах шахтного поля,

вызванное активизацией сдвижения пород. Длины 8-й и 9-й западных лав соответственно составляли 200 и 240 м. Наблюдения проведены от начала эксплуатации выемочных участков до их полной остановки. При скорости подвигания очистных забоев менее 5 м/сут изменение среднего уровня газовыделения описывались прямыми зависимостями (прямые 1, 2, 3). Это свидетельствует, что при указанных скоростях подвигания очистных забоев выделялись не все запасы газа, имеющиеся в подработанном массиве, так как средние значения газовыделения не достигли своего максимума.



1, 2 – прямолинейные зависимости среднемесячного газовыделения от скорости продвижения очистных забоев соответственно 9-й и 8-й западных лав;

3 – прямолинейная зависимость среднемесячного газовыделения от скорости продвижения очистного забоя 8-й западной лавы в наработанной пластом  $l_4$  зоне;

$r$  – коэффициент корреляции;

▲, ◆ – экспериментальные данные соответственно при эксплуатации 9-й и 8-й западных лав;

■ – экспериментальные данные при эксплуатации 8-й западной лаве в наработанной пластом  $l_4$  зоне.

Рисунок 3 - Зависимость среднемесячного общего ( $\bar{I}$ ) газовыделения (в выработки и скважины, в том числе и при активизации сдвижения пород) от скорости продвижения очистных забоев ( $V_{\text{оч}}$ ) при отработке пласта  $l_2^b$  шахтой имени газеты «Известия» ГП «Донбассантрацит»

Некоторый период времени отработка 8-й западной лавы производилась в наработанной пластом  $l_4$  зоне, что существенно повлияло на характер зависимости среднего газовыделения ( $\bar{I}$ ) от скорости ( $V_{\text{оч}}$ ) продвижения очистного забоя (рис.3, прямая 3). Перед остановкой 8-й западной лавы в наработанной зоне среднесуточная скорость продвижения очистного забоя составляла 0,8 м/сут и ей соответствовало газовыделение 10,4 м<sup>3</sup>/мин. Через месяц метановыделение сократилось до

6,1 м<sup>3</sup>/мин. Процесс десорбции, практически до полного прекращения газовыделения, продолжался ещё три месяца. Повторное увеличение газовыделения в скважины, пробуренные на участке остановленной 8-й западной лавы, произошло за счёт активизации сдвижения пород после начала очистных работ в смежной 9-й западной лаве. Длительность газовыделения продолжалось около полугода (с 10.06.1985 г по 13.12.1985 г.). Абсолютный уровень газовыделения в начальный период повторного подключения скважин со-

ставлял 3,6 м<sup>3</sup>/мин, а при их отключении – 0,1 м<sup>3</sup>/мин.

После достижения максимального значения скорости подвигания очистного забоя 9-й западной лавы (2,4 м/сут.) наблюдалось её постепенное снижение до незначительных величин. В результате этого газовыделение снизилось с 42,3 до 7,0 м<sup>3</sup>/мин при средней скорости подвигания очистного забоя 0,12 м/сут. После этого очистные работы следующий месяц не производились и газовыделение снизилось до 1,7 м<sup>3</sup>/мин. Затем добыча производилась два месяца при средней скорости подвигания очистного забоя менее 0,1 м/мес, а газовыделение составляло 2,1÷2,3 м<sup>3</sup>/мин. После чего произошла окончательная остановка забоя и среднее газовыделение в следующий месяц после прекращения работ уменьшилось до 1,6 м<sup>3</sup>/мин. В период нестабильной работы 9-й западной лавы (февраль-июнь 1986 г.) добыча угля производилась эпизодически. Среднемесячные её значения находились в пределах от нуля до 48 т/сут. Изменение газовыделения в выработки при снижении добычи угля и при практически остановленном забое приведено на рисунке 4. Снижение уровня газовыделения происходило по экспоненциальной зависимости, аналогично затуханию метановыделения в дегазационные скважины при удалении очистного забоя от разрезной печи [7].

$$\frac{I_i^0}{I_{max}^0} = \exp(-k \cdot t), \quad (1)$$

где  $I_{max}^0$  – газовыделение в момент остановки очистного забоя, м<sup>3</sup>/мин;

$I_i^0$  – текущее значение газовыделения через время  $t$  после остановки очистного забоя;

$k$  – эмпирический коэффициент.

Отличия между зависимостями заключались в существенной разнице между коэффициентами ( $k$ ) при интенсивной добыче угля (0,028) и остановленном забое (0,019).

Это свидетельствует о совершенно разных факторах, влияющих на газовыделение из подрабатываемого массива при эксплуатации выемочного участка и после его остановки. При удалении очистного забоя с высокой скоростью от разрезной печи уменьшение газовыделения из источников происходило более интенсивно по сравнению с меньшей скоростью подвигания лавы [7]. У остановленного же очистного забоя, наоборот, газовыделение будет более значительным и длительным если прекращению работ предшествовал высокий уровень добычи угля. Сокращение добычи угля перед остановкой очистного забоя способствует уменьшению уровня газовыделения и более быстрому его прекращению. В рассматриваемом случае через четыре месяца после остановки очистного забоя суммарное газовыделение составляло около 25% от уровня газовыделения перед прекращением работ.

Проведенные теоретические исследования и опыт отработки антрацитового пласта подтвердили соответствие предложенных научных положений, предлагаемых для использования при прогнозе динамики газовыделения при ведении и после прекращения очистных работ. После прекращения очистных работ снижение метановыделения во времени происходит по экспоненциальной зависимости. Главным фактором определяющим уровень и длительность газовыделения из подработанных угольных пластов и пород в конкретных горно-геологических и горно-технических условиях, является интенсивность ведения очистных работ перед их прекращением на выемочном участке. Повторное возобновление газовыделения в пределах остановленного выемочного участка происходит под влиянием активизации сдвижения пород при ведении очистных работ в смежных лавах или на сближенных пластах. Его продолжительность связана с длительностью ведения очистных работ за пределами остановленного выемочного участка.

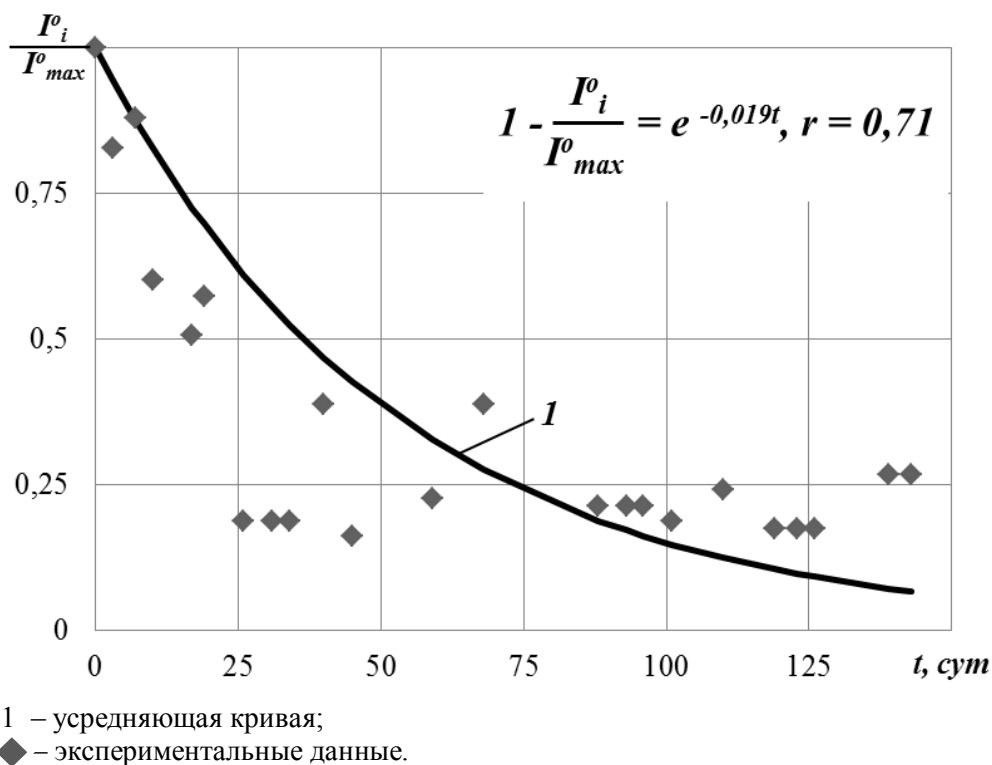


Рисунок 4 – Динамика изменения суммарного относительного газовыделения в выработки и дегазационные скважины 9-й западной лавы  $\left(\frac{I_i^0}{I_{max}^0}\right)$  во времени ( $t$ ) при практически остановленном очистном забое

### Библиографический список

- Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт/ ред. кол.: С.В. Янко [и др.]; под. ред. С.В. Янко. – Киев: Основа. – 1994. – 311 с.
- Петросян А.Э. Газовыделение при работе узкозахватных комбайнов/ А.Э. Петросян, И.В. Сергеев, Н.И. Устинов// ИГД им. А.А. Скочинского. Рудничная аэрология и безопасность труда в шахтах. Научные сообщения XXXIX. – М.: Недра. – 1968. – С.15-23.
- Природные опасности в шахтах, способы их контроля и предотвращения/ Е.Ф. Карпов, Ф.С. Клебанов, Б. Фирчанек [и др.]. – М.: Недра. – 1981. – 471 с.
- Михайлов В.И. О метановыделении за пределами выемочных участков из «старых» ранее отработанных этажей (горизонтов)/ В.М. Михайлов, Д.В. Кузьмин, Н.А. Силаев// Сб.МакНИИ. Борьба с газом, пылью и выбросами в угольных шахтах. Выпуск 8. – Макеевка:Донбасс. – 1972. – С.33-38.
- Патрушев М.А. Использование вентиляционных сбоек на шахтах Торезско-Шахтерского района Донецкого бассейна/ М.А. Патрушев, В.А. Бузин, Н.В. Карнаух// ДонУГИ. Вопросы проветривания шахт Донецкого бассейна. Сб. научных трудов № 44. – М.: Недра – 1969. – С.82-92.
- Драбик А.С. Газопроявления при посадках кровли/ А.С. Драбик, Н.И. Антощенко// Безопасность труда в промышленности. – 1986. - №3 – С. 7-9.
- Антощенко Н.И. Физико-математическая модель динамики метановыделения из подрабатываемых угольных пластов / Н.И. Антощенко, С.И. Кулакова // Горный журнал. – 2012. - №8. – С. 89-93.
- Харин Е.Н. Параметры для прогноза газовыделения из подрабатываемых угольных пластов/ Е.Н. Харин, Н.И. Антощенко, Е.В. Душенко//Уголь Украины. – 2012. - №5. – С.22-25.

Рекомендована к печати д.т.н. Окаленовым В.Н.