

УДК 622.33:658.345

Л.А. Шевченко, д. т. н., профессор кафедры аэрологии, охраны труда и природы  
В.А. Зубарева, к. т. н., доцент кафедры аэрологии, охраны труда и природы  
Кузбасский государственный технический университет  
им. Т.Ф. Горбачёва  
г. Кемерово

## **ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЦИКЛА В ОЧИСТНОМ ЗАБОЕ НА ГАЗООБИЛЬНОСТЬ ВЫЕМОЧНОГО УЧАСТКА ШАХТЫ**

Рассматривается взаимосвязь технологических процессов при подземной разработке угольных месторождений с метановыделением из отбитого угля и обнаженных поверхностей, а также из других источников. Приводится оценка уровня газообильности очистного забоя в зависимости от параметров работы комбайна и его позиции в технологическом цикле, а также от массы отбитого угля и времени его нахождения на конвейерной линии участка. Выявляются наиболее опасные, с точки зрения аэрологической безопасности, фазы технологического цикла работы комбайна в лаве и предлагаются мероприятия по снижению пиковых выделений метана в исходящую струю очистного забоя.

Ключевые слова: аэрологическая безопасность, дебит метана, очистной забой, технологический цикл, газообильность.

Кузнецкий угольный бассейн, являясь основным угледобывающим регионом России, постоянно наращивает добычу угля. Это обеспечивается постоянным вводом в эксплуатацию новых шахт и разрезов, оснащенных высокопроизводительной выемочной техникой, средствами транспорта и современной инфраструктурой. Добыча угля может сопровождаться возникновением эндогенных пожаров [1], для борьбы с которыми разрабатываются новые способы [2]. В шахтах также выделяется радон [3], а образующиеся газы достигают земной поверхности, образуя аномалии [4]. Динамика роста добычи угля в Кузбассе, за последние 10 лет представлена в табл. 1.

Динамика роста добычи угля за 10 лет, млн. тонн

Таблица 1

Годы	Подземная добыча	Открытая добыча	Общая добыча
2007	84,1	97,7	181,8
2008	81,8	102,7	184,5
2009	76,2	104,9	181,6
2010	79,2	106,3	185,6
2011	76,0	116,1	192,1
2012	78,9	122,5	201,4
2013	76,9	126,1	203,0

Годы	Подземная добыча	Открытая добыча	Общая добыча
2014	79,8	131,1	210,9
2015	76,3	139,5	215,8
2016	82,3	145,1	227,4

Несмотря на значительный рост добычи угля открытым способом по сравнению с подземным, аварийность и травматизм при подземных работах, многократно превышают соответствующие показатели при открытой угледобыче, хотя имеет тенденцию к снижению (табл. 2).

Показатели травматизма в угольной промышленности  
Кемеровской области за последние 10 лет

Таблица 2

Годы	Общий травматизм	Смертельный травматизм, чел			Удельный показатель смертельного травматизма, чел/млн т		
		Подземные работы	Открытые работы	Общий	Подземные работы	Открытые работы	Общий
2007	1108	192	6	198	2,28	0,06	1,09
2008	777	27	5	32	0,33	0,05	0,17
2009	657	27	5	32	0,35	0,05	0,18
2010	807	113	6	119	1,43	0,06	0,64
2011	420	22	5	27	0,29	0,04	0,14
2012	394	18	6	24	0,23	0,05	0,12
2013	294	27	3	30	0,35	0,02	0,15
2014	222	15	4	19	0,19	0,03	0,09
2015	188	8	6	14	0,10	0,04	0,06
2016	177	9	5	14	0,10	0,03	0,06

Из табл. 2 видно, что резкие всплески травматизма, особенно смертельного, фиксируются в те годы, когда происходили крупные аварии на шахтах в виде взрыва метановоздушной смеси, где число погибших составляло до сотни и более (в 2007 году шахта «Юбилейная» – 110 чел., в 2010 году шахта «Распадская» – 91 чел.). Особенности таких аварий заключаются в неудовлетворительном состоянии аэрологической безопасности шахт, как главного фактора надежности рудничной атмосферы.

Особую актуальность эта проблема приобретает в связи с растущей производительностью выемочной техники, что сопровождается отделением больших масс угля от угольного пласта в единицу времени, а это, в свою очередь, способствует интенсификации выделения газа в очистной забой [5-11].

Несмотря на то, что практически все шахты Кузбасса работают с одним очистным забоем, их газообильность зачастую достигает критических значений ввиду высоких нагрузок на пласт. Это создает серьезные проблемы в управлении газовым режимом и обеспечении безопасности шахтной атмосферы, острота которых со временем будет только нарастать. В связи с этим возникает необходимость более детального исследования условий формирования опасных газовых скоплений и их связи с основными фазами технологического цикла.

Как известно, технология очистных работ в шахтах, где применяются высокопроизводительные комплексы, имеет циклический характер воздействия на угольный пласт в течение смены. Учитывая циклический характер выемки угля в лаве при прямом и обратном ходе комбайна, масса отбиваемого им угля колеблется от нуля до максимума при полной загрузке забойного конвейера, что может составлять до 780-800 тонн.

Из каждой тонны свежесбитого угля выделяется объем метана равный

$$Y = (X_0 - X_{\text{ост}}) \cdot L_{\text{л}} \cdot m d j, \text{ м}^3 \quad (1)$$

где  $X_0$  – природная газоносность или газоносность пласта в зоне отбойки комбайна,  $\text{м}^3/\text{т}$ ;  $X_{\text{ост}}$  – остаточная газоносность отбитого угля,  $\text{м}^3/\text{т}$ ;  $L_{\text{л}}$  – длина лавы, м;  $m$  – вынимаемая мощность пласта, м;  $d$  – ширина захвата комбайна, м;  $j$  – плотность угля,  $\text{т}/\text{м}^3$ .

Вторым источником газовой выделения в рабочее пространство очистного забоя является свежесоборванная поверхность пласта после прохода комбайна, через которую в первые минуты будет происходить фильтрация метана в лаву. Объем выделившегося газа в этом случае будет определяться из выражения

$$Y = (X_0 - X_1) \cdot L \cdot m d j, \text{ м}^3, \quad (2)$$

где  $X_1$  – газоносность угля на обнаженной поверхности,  $\text{м}^3/\text{т}$ .

Для подтверждения полученных результатов были проведены наблюдения в лаве 24-57 шахты им. С.М. Кирова СУЭК-Кузбасс при отработке пласта «Болдыревского». Лава оборудована комбайном Джой SL 300, крепью Джой RS 2400-650, забойным конвейером AFG-38/800/1500 и ленточным конвейером 4 ЛЛ-1200-2П.ТС. Лава имела нисходящее проветривание с количеством воздуха на входящей струе 1345  $\text{м}^3/\text{мин}$  по возвратноточной схеме. На исходящей струе лавы количество воздуха составляло 954  $\text{м}^3/\text{мин}$  с концентрацией метана 0,7%, что соответствует абсолютной газообильности 6,67  $\text{м}^3/\text{мин}$ .

Наблюдения проводились в добычную смену работы комбайна, который перемещается вдоль лавы по челноковой схеме, затрачивая на каждый цикл в среднем до 50 минут. По мере наращивания угольной массы на лавном конвейере возрастало и газовыделение из нее, которое рассчитывалось по формуле (1) и одновременно замерялось на исходящей струе лавы с интервалом 30 секунд. Замеры проводились без остановок комбайна за время цикла и с кратковременными остановками, если концентрация метана на исходящей струе приближалась к 1%. В результате были получены кривые газовыделения в очистной забой при прямом и обратном ходе комбайна (см. рисунок).

Необходимо отметить, что в действующих нормативных актах при расчете газообильности очистных забоев учитываются также и другие источники метана, однако при высоких нагрузках они существенно не влияют на итоговый результат.

Отдавая приоритет отбитому углю как главному источнику газовыделения в очистной забой, рассмотрим основные фазы его образования в течение выемочного цикла работы комбайна. При движении комбайна снизу-вверх по восстанию пласта конвейер начинает загружаться углем вслед за комбайном, что приводит к увеличению массы отбитого угля и, следовательно, газообильности забоя, достигающей максимума в верхнем положении комбайна в лаве. При обратном ходе комбайна загружается только часть конвейера впереди комбайна, при этом она постоянно уменьшается (рис.). Как видно из рис., точки максимальной газообильности при прямом и обратном ходе комбайна приурочены к разным моментам технологического цикла.

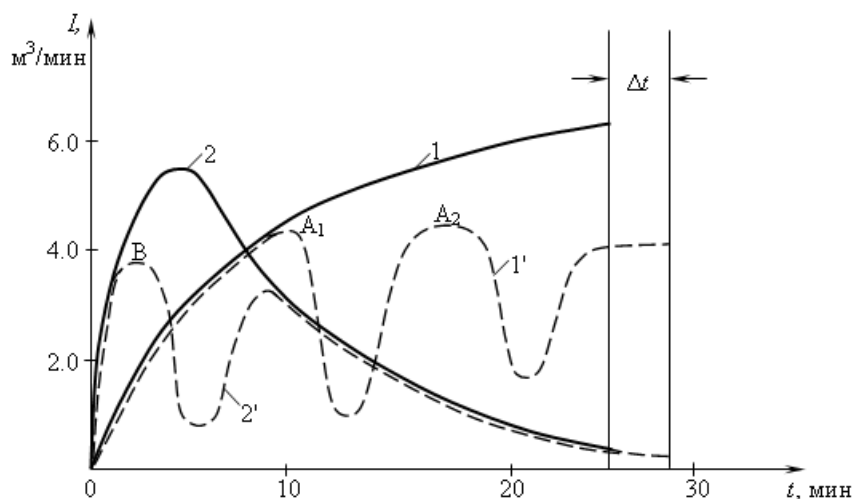


Рис. Динамика газовой выработки из отбитого угля при прямом (1) и обратном (2) ходе комбайна; 1' и 2' — то же при технологических паузах;  $\Delta t$  — время увеличения продолжительности цикла за счет пауз

Если при прямом ходе комбайна это крайняя верхняя точка лавы, то при обратном ходе максимум дебита газа находится на расстоянии  $l'$  от нее, равном

$$l' = l_{\text{л}} \frac{V_{\text{ком}}}{V_{\text{кон}}}, \text{ м} \quad (2)$$

где  $l_{\text{л}}$  — длина лавы, м;  $V_{\text{ком}}$  — скорость движения комбайна, м/мин;  $V_{\text{кон}}$  — скорость движения цепи конвейера, м/мин.

Подобные колебания абсолютной газообильности очистного забоя повторяются при каждом выемочном цикле и могут служить основой для прогнозирования опасных газовых ситуаций, что особенно важно при разработке высокогазоносных угольных пластов. Учитывая, что в течение добычной смены выемочных циклов может выполняться до пяти-шести, то соответственно момен-

тов повышенного газовыделения может быть в два раза больше с интервалами времени 30-40 минут.

В сложившихся условиях, принимая во внимание тенденции усложнения аэрогазовой проблемы шахт с высокопроизводительными очистными и подготовительными забоями, возникает необходимость и целесообразность организации более гибкого мониторинга атмосферы в течение всего технологического цикла разрушения и перемещения угольной массы. Особое внимание следует уделять моментам, приуроченным к максимальному газовыделению в атмосферу очистного забоя и принимать корректирующие воздействия до наступления критического значения концентрации метана. В условиях, когда угольный пласт не дегазирован или дегазирован недостаточно, единственным, технически возможным способом сдерживать рост газообильности забоя, является комплекс организационно-технических мероприятий, включающих кратковременные технологические паузы работы комбайна или уменьшение его скорости движения, что автоматически приводит к быстрому снижению массы отбитого угля и полному освобождению конвейера в течение 2-3 минут, а, следовательно, и к снижению газообильности очистного забоя.

На рис. точки  $A_1$ ,  $A_2$  соответствуют моментам начала технологической паузы, т.е. остановки комбайна, при прямом ходе, количество которых может приниматься в зависимости от газовой обстановки на участке. В результате при подходе комбайна к верхней части лавы газообильность существенно снижается. При обратном ходе комбайна технологической паузе соответствует точка В, которая позволяет снизить максимум массы отбитого угля на забойном конвейере, а, следовательно, и объем выделяющегося из него газа, что, как правило, наблюдается в начале цикла, после чего идет главное снижение газообильности забоя. Особенно эффективными эти мероприятия могут быть при отработке высокогазоносных пластов длинными лавами, где максимальная масса отбитого угля на конвейере достигает 30-40 тонн с интенсивным газовыделением в первые минуты после отбойки.

В случаях, когда остановка комбайна и конвейера происходит путем автоматического отключения электроэнергии на участке при превышении допустимой концентрации газа, потери времени могут быть намного больше за счет увеличения продолжительности проветривания забоя, так как отбитый уголь остается на конвейере. В связи с этим, считаем целесообразным, учитывать данные рекомендации при составлении технологических карт на разработку угольных пластов с высокими нагрузками на очистной забой.

В плане оценки роли отбитого угля в формировании газового баланса выемочного участка необходимо отметить также и то, что на процесс истечения метана из кусков угля будет влиять и его фракционный состав. Очевидно, что с изменением крупности частиц будет изменяться площадь их поверхности, через которую происходит фильтрация метана, при этом с увеличением крупности кусков угля интенсивность газовыделения уменьшается и наоборот. В частности, за время транспортирования по конвейерной линии фракция угля 50 мм отдает в выработки участка до 50% метана, оставшаяся часть выделяется уже на главных выработках или на поверхности. Более мелкие фракции могут дега-

зироваться в пределах участка до 70-80%, что наблюдается при наличии в угольных пластах перемятых пачек или в зонах, примыкающих к геологическим нарушениям [12-13].

Оценивая общий газовый баланс участка необходимо иметь ввиду, что процессы метановыделения из пласта и выработанного пространства, являются случайными по своей природе и соотношение их элементов может постоянно меняться в ту или иную сторону, однако общая тенденция преобладания доли газоотдачи из разрабатываемого пласта неизменно сохраняется, усиливаясь с увеличением скорости подвигания очистного забоя. Отклонения от указанных зависимостей могут быть только при первичной посадке лавы, когда газовый баланс из меняется в сторону повышения газовыделения из выработанного пространства, однако этот процесс является непродолжительным по времени, хотя и требует соблюдения максимальных мер безопасности при его проведении.

Не менее важным фактором аэрологической безопасности очистного забоя является выбор схемы проветривания выемочного участка. Исходя из вида кривых на рис., можно считать нецелесообразным восходящее проветривание лавы через конвейерный штрек, так как при вносе в забой дополнительного метана даже в пределах допустимых значений (по Правилам безопасности 0,5%), на исходящей струе дополнительного к газу, поступающему из отбитого угля добавится газ, внесенный в лаву извне, что автоматически повышает ординаты кривых на рисунке, снижая тем самым резерв воздуха в самой лаве и в конечном счете усложняет газовую обстановку в забое [14-15].

Приведенный анализ процессов газовыделения в очистной забой и его источники требуют детального изучения и постоянного мониторинга как с технической, так и с научной точек зрения, что позволит поддерживать режим высокоскоростной отработки угольных пластов в рамках требований безопасности. Главной задачей в решении данной проблемы является снятие ограничений, накладываемых на очистной комплекс со стороны газового фактора и достижение максимальной производительности выемочной техники.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Portola V.A. Assessment of the effect of some factors on spontaneous coal combustion. *Journal of Mining Science*. 1996. 32(6). P. 536-541.
2. Portola V., Galsanov N. Inert compositions for underground fire fighting in mines. *Chinese Coal in the XXI Century: Mining 2014. Taishan Academic Forum – Project on Vine Disaster Prevention and Control. Mining, Green and Safety, October 17-20, 2014. Qingdao, China. 2014. – P. 356-360.*
3. Portola V. A. Radon Emission from Coal Mines of Kuzbass Region [Electronic resource] / V. A. Portola, E. S. Torosyan, V. K. Antufeyev // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. — 2016. — Vol. 127: Urgent Problems of Modern Mechanical Engineering. — [012021, 5 p.].
4. Portola V.A. Gas anomalies above underground gas sources. *Journal of Mining Science*. 1996. 32(3). P. 212-218.

5. Weddige A. Der Absaugen von Grubengas in seiner geschichtlichen Entwicklung//Gluckauf, Heft 13/14 – 1955/ – s. 337-346/
6. Patteisky K. Art des Vorhandenseins des Grubengases im Gebirge und sein Auftreten / Bergbau – 1951 – № 2.
7. Patteisky K. Einfluss der luftdruckrhythmen auf das Gasabgabe von Steinkohlengruben / Gluckauf – 1950 – № 85.
8. International Coal bed Methane Symposium – USA, University of Alabama, Tuscolossa / 2004, 2005, 2006.
9. Barker-Read G.R. An experimental investigation of coal/air heat transfer. – Great Britain, university of Leeds/ LUMA, 1990. – c. 193-202.
10. Walker P.L., Austin L.G. Nandy S.P. Chemistry and physics of carbon. Vol. 2. Activated diffusion of gases in molecular-sieve materials. – New York: Marcel Dekker, inc., 1966.
11. Barker-Read G.R., Radchenko S.A. Methane emission from coal and associated strata samples. – International Journal of Mining and Geological Engineering, 1989, № 7, c. 101-121.
12. Griffin P.E. Methane sorption studies with particular reference to the outburst prone anthracites of West Wales – M/ Sc. Thesis University of Wales, Cardiff. UK, 1978.
13. Airey E.M. Gas emission from broken coal. An experimental and theoretical investigation // International Journal of Rock Mechanics and Mining Science/ – 1968, Vol. 5, № 6, pp. 475-494.
14. Radchenko S.A. New methods and devices for effective sampling, preparation and investigation of coal samples // Fuel. – 1993. – Volume 72. – № 5. – P. 721-722.
15. Shevchenko L., Gas in Well as a Comprehensive Indicator of gas Permeability of the Coal Seam / The 8<sup>th</sup> Russian-Chinese Symposium Coal in the 21<sup>st</sup> Century: Mining, Processing and Safety. – 2016 – Kemerovo, Russia. S. 184-188.

## **IMPACT OF THE TECHNOLOGICAL CYCLE IN PURIFICATION FORGES TO THE GAS POTENTIAL OF THE MOTOR VEHICLE**

L.A. Shevchenko

doctor of technical sciences. Sci., Professor of the Department of Aerology, Labor and Nature Protection FGBOU IN KUGSTU

V.A. Zubareva

Cand. tech. Sci., Associate Professor, Chair of Aerology, Occupational Safety and Nature,  
FSBUU VU KUGSTU

The interrelation of technological processes in the underground mining of coal deposits with methane emissions from churned coal and exposed surfaces, as well as from other sources is considered. The estimation of the level of the gas content of the

extraction face is given depending on the parameters of the combine operation and its position in the technological cycle, as well as on the mass of the coal burned and its time on the conveyor line of the site. The most dangerous from the point of view of aerological safety, the phase of the technological cycle of the harvester's work in lava are revealed, and measures are proposed to reduce the peak emissions of methane into the outgoing stream of the extraction face. Key words: aerological safety, methane production rate, cleanup face, technological cycle, gas content