

М.Ю. Лискова

ДВИЖЕНИЕ ГАЗОВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ ПО ВЫРАБОТАННЫМ ПРОСТРАНСТВАМ

Выработанные пространства являются резервуаром свободного газа, находящегося под атмосферным давлением, близким к давлению воздуха в окружающих выработках. С изменением этого давления изменяется объем газовой смеси в выработанном пространстве. Увеличение атмосферного давления сжимает смесь, вследствие чего часть пустот в выработанном пространстве заполняется воздухом из соседних выработок. Этот воздух создает движение из выработок в выработанное пространство, препятствующее выделению горючих и ядовитых газов. При уменьшении атмосферного давления происходит обратное: газ расширяется и газовыделение из выработанного пространства увеличивается. К примеру, при работе вентиляторов главного проветривания на нагнетание, когда в шахте создается избыточное давление, в выработанных пространствах в сжатом состоянии могло скапливаться большое количество газовой смеси. При остановке вентиляторов (к примеру, нулевая аварийная вентиляция) и уменьшении давления в шахте до нормального находящиеся в выработанных пространствах большого объема в сжатом состоянии газы, расширяются, выходят из них, заполняя горные выработки. Рассмотрены причины, обуславливающие перемещение метано-воздушных смесей из выработанного пространства в горные выработки, а также факторы от которых зависит газовая динамика выработанных пространств.

Ключевые слова: выработанные пространства, газоздушная смесь, утечки воздуха, шахта, газ, давление, горные выработки.

DOI: 10.25018/0236-1493-2017-7-0-131-136

Под выработанным пространством понимается некоторый объем в горном массиве, из которого извлечены горные породы и который (в отличие от горных выработок) не используется для технологических целей. Их возникновение является следствием как технологической активности человека, так и совокупности действия естественных процессов сдвига и разрушения горных пород [2, 3].

До недавнего времени выработанные пространства и динамика движения газоздушных потоков в них изучались в основном с точки зрения утечек воздуха. Этой проблеме посвящены работы Ф.А. Абрамова [4], М.Н. Бодягина [5],

В.Б. Комарова [6], Ф.С. Клебанова [7], Н.О. Калединой [8], И.И. Медведева [9], Л.А. Пучкова [3, 11], В.А. Ярцева [14] и многих других.

В своих работах многие авторы условно делили выработанные пространства на две группы — проветриваемые и непроветриваемые. Проветривание выработанного пространства обычно осуществляется за счет утечек воздуха, причем проветривается в основном лишь та часть выработанного пространства, которая примыкает к очистному забою. Практически протяженность этой части выработанного пространства не превышает 200 м. Различная интенсивность

утечек воздуха через выработанные пространства является причиной существования нескольких режимов движения воздуха в них.

Существуют следующие режимы движения воздуха: турбулентный, ламинарный и переходный между турбулентным и ламинарным. По мере удаления выработанных пространств от призабойного пространства утечки воздуха через них обычно уменьшаются, а движение воздушной струи из турбулентного режима переходит в ламинарный [10, 13]. По данным Л.А. Пучкова [3] в 18% случаев режим движения воздушной струи в выработанных пространствах угольных шахт является турбулентным, в 24% — ламинарным и в 58% — переходным между ламинарным и турбулентным. Утечки воздуха через выработанные пространства по данным [7] составляют до 40—80% того объема воздуха, который поступает в забой.

Считается, что в непроветриваемых выработанных пространствах движение воздушных масс практически отсутствует. Однако нет абсолютно герметичных шахтных сооружений, поэтому через перемычки всегда просачивается воздух. Кроме того, даже через уплотненные слои обрушенных пород наблюдается просачивание воздуха и, если выработанные пространства имеют значительную протяженность, через них теряются огромные объемы воздуха.

К примеру, шахты ОАО «Севералюкситруда» (г. Североуральск Свердловской обл.) связаны выработанными пространствами длиной по простиранию отрабатываемой залежи в несколько километров и шириной по падению залежи более 1,5 км с поверхностью. Согласно [12] через такие отработанные поля просачивается: на шахте 14—14 бис «Красная Шапочка» 32,6% суммарной производительности главных вентиляторных установок (3 установки), на шахте «Черев-

муховская» 29,5% суммарной производительности ГВУ (3 установки), на шахте «Кальинская» 34,4% суммарной производительности ГВУ (2 установки).

Рудники и шахты, горные выработки которых имеют аэродинамическую связь с земной поверхностью через выработанные пространства, всегда были под пристальным вниманием исследователей, т.к. осуществить в них эффективное и устойчивое проветривание рабочих зон не удавалось. Виной тому большие неконтролируемые прососы воздуха с поверхности, которые делают вентиляционные сети шахт трудно управляемыми. Согласно [15] средняя величина этих практически не контролируемых прососов воздуха с поверхности составляет 30—40% дебита главных вентиляторных установок (ГВУ). В неглубоких шахтах этот воздух может участвовать в проветривании рабочих зон, что представляет определенную опасность, т.к. в нем могут содержаться вредные для здоровья человека компоненты. В глубоких шахтах этот воздух в проветривании рабочих зон не участвует, но на его циркуляцию затрачивается огромная энергия.

Величина и направление движения утечек воздуха через выработанное пространство зависят от множества факторов, основными из которых являются: типы применяемых систем разработки; схема и способ проветривания выемочного участка; аэродинамические параметры выработанных пространств; наличие прилегающих выработок; наличие аэродинамической связи с другими зонами обрушения; депрессия участка.

Выработанные пространства являются резервуаром свободного газа, находящегося под атмосферным давлением, близким к давлению воздуха в окружающих выработках [2, 11, 13]. С изменением этого давления изменяется объем газозаполненной смеси в выработанном пространстве. Увеличение атмосферно-

го давление сжимает смесь, вследствие чего часть пустот в выработанном пространстве заполняется воздухом из соседних выработок. Этот воздух создает движение из выработок в выработанное пространство, препятствующее выделению горючих и ядовитых газов. При уменьшение атмосферного давления происходит обратное: газозвудушная смесь расширяется и газовыделение из выработанного пространства увеличивается. Этот процесс носит периодический характер на достаточно большом промежутке времени: давление периодически увеличивается и уменьшается, колеблясь около некоторого среднего значения, характерного для данного региона и времени года. В результате выработанное пространство «дышит»: в одни периоды оно выделяет газ, в другие принимает воздух из соседних выработок [3].

Газовыделения из выработанных пространств являются в основном следствием нарушений, которые возникают во вмещающих горных породах при ведении вблизи них горных работ, в результате чего содержащийся в них газ начинает выделяться в выработанное пространство и далее в окружающие выработки [10].

Главной движущей силой, определяющей выделение метана из выработанного пространства в окружающие выработки, является разность давлений метана во вмещающих горных породах и воздуха в выработках. Эта разность давлений вызывает движение метана по основному направлению: вмещающие породы — выработанное пространство — горные выработки. Однако на основное движение существенное влияние в пределах выработанного пространства оказывает фильтрационное движение воздуха в виде утечек. Это объясняется преобладающим влиянием разности давлений воздуха между выработками (горизонтами) по сравнению с

разностью давления между выработанным пространством и теми же выработками. Поэтому пути движения метана из выработанных пространств в окружающие выработки практически определяются путями утечек воздуха через выработанное пространство.

Основной причиной выделения газов из вмещающих пород является разность давлений газа в массиве, которое составляет многие атмосферы, и в выработанном пространстве, имеющей порядка одной атмосферы. Эта разность мало зависит от обычных изменений давления в вентиляционной системе шахты, т.к. величина этих изменений составляет малые доли атмосферы. Изменение давления воздуха в выработках, происходящее в процессе эксплуатации шахт (в том числе и при изменении режимов работы вентиляторных установок главного проветривания), практически не влияет на выделение газов в выработанное пространство. Однако выделение из выработанного пространства в окружающие выработки может существенно изменяться во времени вследствие изменения давления в выработках (депрессии вентилятора или атмосферного давления), поскольку таковые могут вызывать дополнительный вынос ранее накопившегося в выработанном пространстве газа. Подобные явления составляют основу экстремальных переходных газодинамических процессов в угольных и других шахтах [3].

Причины, обуславливающие перемещение метано-воздушных смесей из выработанного пространства в горные выработки могут быть разделены на постоянно действующие и временные. К постоянно действующим причинам относятся: разница давлений воздуха, вызывающая его движение в выработанном пространстве, молекулярная диффузия и разница удельных весов различных газов. Первая причина является

основной, обуславливающей перемещение метана в проветриваемых выработанных пространствах. Молекулярная диффузия и разница в удельных весах метана и воздуха являются главными причинами движения метано-воздушных смесей в непроветриваемых выработанных пространствах.

Перепад вентиляционного давления вызывает движение воздуха не только по выработкам, но и по прилегающей к ним части выработанного пространства. В турбулентном потоке, который имеет место в выработанном пространстве вблизи, к примеру, лавы, перемещение газов за счет молекулярной диффузии составляет всего 1%. Поэтому движение метана в этих частях выработанного пространства определяется направлением движения утечек воздуха. К временным причинам, обуславливающим перемещение метано-воздушных смесей из выработанного пространства в горные выработки, относятся падение барометрического давления, значительное снижение депрессии воздушной струи и обрушение больших масс пород кровли. Падение барометрического давления и снижение депрессии воздушной струи приводят к уменьшению давления рудничной атмосферы в выработках, вследствие чего происходит расширение газов в выработанном пространстве и их перемещение в действующие выработки.

Увеличение выделения газа из выработанного пространства следует за падением барометрического давления с некоторым опозданием. Величина замедления зависит от характера колебаний (резко или плавно) барометрического давления, аэродинамического сопротивления путей движения газа, размера и расстояния от резервуара газа до вентиляционной выработки. При расположении открытой пустоты, заполненной метано-воздушной смесью с высокой концентрацией метана, рядом с вентиля-

ционной выработкой поступление газов в нее происходит почти одновременно с началом падения барометрического давления. Однако даже легкие перемычки, сооруженные на пути движения газа, замедляют его перемещение и снижают пики газовыделения. При обрушении породы газовые смеси выталкиваются из выработанного пространства.

Газовая динамика выработанного пространства зависит от множества факторов: от характера и интенсивности источников газовой выработки, схемы приоткрытия выработанного пространства к воздухопроводящим выработкам участка, от утечек воздуха через выработанное пространство. Пути движения метана в выработанном пространстве в основном определяются утечками воздуха и, как правило, совпадают по направлению с последними.

Утечки воздуха через выработанное пространство на газовых шахтах могут выполнять полезную роль, разбавляя метан и не допуская его выход в рабочее пространство лавы (рабочей зоны) при прямом порядке отработки и возвратной схеме проветривания. Но они могут создавать и опасные концентрации метана на сопряжении вентиляционного штрека с лавой при прямом порядке отработки и прямой схеме проветривания. При возвратной схеме проветривания и обратной схеме отработки в средней части лавы количество воздуха в результате перемещения его через выработанное пространство уменьшается, что также может привести к повышению концентрации метана. Максимальные утечки воздуха имеют место на расстоянии примерно до 50 м от забоя.

Итак, выработанные пространства представляют собой пути движения воздуха (газовоздушных смесей), которые должны быть отражены в вентиляционных моделях шахт и рудников при решении

вентиляционных задач. Как известно, пути движения воздуха в вентиляционных моделях обозначают ветвями: несколькими параллельными при рассредоточенных утечках воздуха и единичными при сосре-

доточенных утечках. Решение сложных вентиляционных моделей с выработанными пространствами, изображенными в виде обычных ветвей, производят известными в настоящее время методами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Постникова М. Ю.* Влияние выработанных пространств на аэрогазодинамические процессы при аварийных режимах вентиляции рудников: Дис. ... канд. техн. наук. — Тула: ТулГУ, 2010. — 191 с.
2. *Ушаков К. З.* Газовая динамика шахт 2-е изд. перераб. и доп. — М.: изд-во МГГУ, 2004. — 481 с.
3. *Пучков Л. А.* Аэродинамика подземных выработанных пространств. — М.: изд-во МГГУ, 1993. — 267 с.
4. *Абрамов Ф. А., Бойко В. А., Булах Г. И.* Применение быстродействующих ЭВМ для расчета проветривания шахт // *Металлургия и горное дело.* — 1962. — № 2.
5. *Бодягин М. Н.* Рудничная вентиляция. — М.: Недра, 1967. — 216 с.
6. *Комаров В. Б., Борисов Д. Ф.* Рудничная вентиляция. — Л.: ГОНТИ НКТП, 1938. — 454 с.
7. *Клебанов Ф. С.* Влияние выработанных пространств на аэрогазодинамические режимы шахт / *Научные исследования по разработке угольных и рудных месторождений.* — М.: Госгортехиздат, 1959.
8. *Каледина Н. О.* Управление газовой выделением из выработанных пространств угольных шахт, автореферат дис...докт. техн. наук. — М.: изд-во МГГУ, 1995. — 33 с.
9. *Медведев И. И., Полянина Г. Д.* Газовыделения на калийных рудниках. — М.: Недра, 1974. — 168 с.
10. *Милетич А. Ф.* Утечки воздуха и их расчет при проветривании шахт. — М.: Недра, 1968. — 146 с.
11. *Пучков Л. А., Каледина Н. О.* Динамика метана в выработанных пространствах шахт. — М.: изд-во МГГУ, 1995. — 313 с.
12. *Мохирев Н. Н., Радько В. В.* Вентиляция бокситовых шахт (на примере ОАО «Северал-бокситруд»). — Пермь—Североуральск, 2008. — 302 с.
13. *Абрамов Ф. А., Грецингер Б. Е., Соболевский В. В., Шевелев Г. А.* Аэрогазодинамика выемочного участка. — Киев: Изд-во Науково, 1972.
14. *Ярцев В. А., Токмаков В. В.* Оптимальное соотношение депрессий вентиляторов при комбинированном способе проветривания // *Известия вузов. Горный журнал.* — 1968. — № 9.
15. *Багриновский А. Д., Шлак Г. В., Зубов Р. В.* Новые электрические модели для расчета рудничных вентиляционных сетей. *Научные исследования по разработке угольных и рудных месторождений.* — ИГД АН СССР, 1959. **ПИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Лискова Мария Юрьевна — кандидат технических наук, доцент,
e-mail: mary.18.02@mail.ru,
Пермский национальный исследовательский политехнический университет.

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2017. No. 7, pp. 131–136.

UDC 622.4. 012.2

M.Yu. Liskova

MOVEMENT OF AIR-GAS MIXTURES PRODUCED BY SPACES

Out space are the reservoir of free gas under the atmospheric pressure close to air pressure in the surrounding openings. With this change in pressure changes the volume of gas-air mixture in the

goaf. The increase in atmospheric pressure compresses the mixture, whereby part of the voids in the goaf is filled with air from adjacent workings. This creates air movement from workings mined-out space, preventing the release of flammable and toxic gases. When the decrease of atmospheric pressure, the opposite occurs: the gas-air mixture expands and the gas emission from the goaf is increased. For example, when the fan of the main airing on injection, when the shaft is pressurized, in a mined-out spaces in a compressed state to accumulate a large amount of gas-air mixtures. When you stop the fans (for example, zero emergency ventilation) and reducing the pressure in the mine to normal in goaf of a large volume of compressed gases expanding out of them, filling mine workings.

The article considers the reasons for the move methane-air mixtures from a goaf into mine workings, as well as factors which determine the gas dynamics of the worked-out areas.

Key words: goaf, gas mixture, air leaks, mine, gas, pressure, mining.

DOI: 10.25018/0236-1493-2017-7-0-131-136

AUTHOR

Liskova M.Yu., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, e-mail: mary.18.02@mail.ru, Perm National Research Polytechnic University, 614990, Perm, Russia.

REFERENCES

1. Postnikova M.Yu. *Vliyaniye vyrabotannykh prostranstv na aerogazodinamicheskie protsessy pri avariynnykh rezhimakh ventilyatsii rudnikov* (The influence of the worked out areas at aerogasdynamic processes in case of emergency modes of ventilation of mines), Candidate's thesis, Tula, TulGU, 2010, 191 p.
2. Ushakov K. Z. *Gazovaya dinamika shakht*, 2-e izd. (Gas dynamics of shafts, 2nd edition), Moscow, izd-vo MGGU, 2004, 481 p.
3. Puchkov L. A. *Aerodinamika podzemnykh vyrabotannykh prostranstv* (The aerodynamics of the underground mined-out spaces), Moscow, izd-vo MGGU, 1993, 267 p.
4. Abramov F. A., Boyko V. A., Bullakh G. I. *Metallurgiya i gornoe delo*. 1962, no 2.
5. Bodyagin M. N. *Rudnichnaya ventilyatsiya* (Mine ventilation), Moscow, Nedra, 1967, 216 p.
6. Komarov V. B., Borisov D. F. *Rudnichnaya ventilyatsiya* (Mine ventilation), Leningrad, GONTI NKTP, 1938, 454 p.
7. Klebanov F. S. *Nauchnye issledovaniya po razrabotke ugol'nykh i rudnykh mestorozhdeniy* (Influence of worked out areas in mines aerogasdynamic modes), Moscow, Gosgortekhzdat, 1959.
8. Kaledina N. O. *Upravlenie gazovydeleniem iz vyrabotannykh prostranstv ugol'nykh shakht* (Control of gas emission from the worked-out areas of coal mines), Doctor's thesis, Moscow, izd-vo MGGU, 1995, 33 p.
9. Medvedev I. I., Polyanina G. D. *Gazovydeleniya na kaliynnykh rudnikakh* (The evolution of Gas in the potash mines), Moscow, Nedra, 1974, 168 p.
10. Miletich A. F. *Utechki vozdukha i ikh raschet pri provetrivanii shakht* (Air leakage and the calculation of the ventilation of mines), Moscow, Nedra, 1968, 146 p.
11. Puchkov L. A., Kaledina N. O. *Dinamika metana v vyrabotannykh prostranstvakh shakht* (Dynamics of methane in goafs of mines), Moscow, izd-vo MGGU, 1995, 313 p.
12. Mokhirev N. N., Rad'ko V. V. *Ventilyatsiya boksitovykh shakht (na primere OAO «Sevuralboksitruda»)* (entilation bauxite mines (on the example of «Sevuralboksitruda»)), Perm–Severoural'sk, 2008, 302 p.
13. Abramov F. A., Gretsinger B. E., Sobolevskiy V. V., Shevelev G. A. *Aerogazodinamika vyemoch-nogo uchastka* (Aerogas-dynamics of an excavation site), Kiev, Izd-vo Naukovo, 1972.
14. Yartsev V. A., Tokmakov V. V. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal*. 1968, no 9.
15. Bagrinovskiy A. D., Shpak G. V., Zubov R. V. *Novye elektricheskie modeli dlya rascheta rudnichnykh ventilyatsionnykh setey. Nauchnye issledovaniya po razrabotke ugol'nykh i rudnykh mestorozhdeniy* (New electric model for the calculation of mine ventilation networks. Research on the development of coal and ore deposits), IGD AN SSSR, 1959.