

МОНИТОРИНГ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ДЕГАЗАЦИИ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ – ОСНОВА БЕЗОПАСНОГО ТРУДА ГОРНОРАБОЧИХ

В.А. Малашкина

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва

Аннотация: Процесс дегазации угольных шахт стал неотъемлемой частью технологического процесса добычи угля при разработке газоносных угольных месторождений. Данные научных исследований и практика подтверждают влияние эффективности дегазационных работ на всех этапах технологического процесса, и существенное положительное воздействие на технологию и экономику забоев, участков и шахты в целом. Постоянный мониторинг основных показателей эффективности работы системы дегазации (дегазационной и газоотсасывающей установок) позволяет произвести раннее обнаружение опасных и неблагоприятных факторов, оказывающих влияние на безопасность труда горнорабочих. К основным показателям эффективности работы систем дегазации необходимо отнести не только соответствие нормативным документам содержание метана в каждой горной выработке, но и непрерывность работы дегазационной и газоотсасывающей установок. Этот показатель может быть обеспечен стабильностью работы подземного вакуумного дегазационного газопровода и вакуум-насосной станции. Должны быть обеспечены своевременный отвод конденсата и максимальная для данных условий герметичность вакуумного газопровода. Данные о мониторинге этих показателей влияют на качество работы вакуум-насосной станции и, следовательно, на обеспечение безопасной ситуации в горных выработках. Сравнение текущих показателей с нормативными в режиме текущего времени позволит своевременно обнаруживать опасные ситуации и принимать соответствующие решения, направленные на снижение аварийности на газообильных угольных шахтах.

Ключевые слова: дегазация, гидравлическое сопротивление, подземный вакуумный газопровод, метановоздушная смесь, стеклопластиковый трубопровод, герметичность, парниковый эффект, мониторинг, безопасность.

Для цитирования: Малашкина В.А. Мониторинг эффективности системы дегазации угольной шахты – основа безопасного труда горнорабочих // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 6-1. – С. 38–45. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-38-45.

Monitoring the effectiveness of the coal mine degassing system-the basis for safe work of miners

V.A. Malashkina

National university of science and technology «MISIS», Moscow, Russia

Abstract: The process of degassing coal mines has become an integral part of the technological process of coal mining in the development of gas-bearing coal deposits. Research data and

practice confirm the impact of degassing efficiency on all stages of the technological process, and has a significant positive impact on the technology and economy of the faces, sections and mines as a whole. Continuous monitoring of the main performance indicators of the degassing system (degassing and gas-pumping plants) allows early detection of dangerous and adverse factors that affect the safety of miners. The main indicators of the efficiency of degassing systems should include not only compliance with regulatory documents, the content of methane in each mining operation, but also the continuity of the degassing and gas-pumping plants. This indicator can be provided by the stability of the underground vacuum degassing gas pipeline and vacuum pumping station. Timely condensate discharge and maximum tightness of the vacuum gas pipeline for these conditions must be provided. Data on monitoring these indicators affect the quality of operation of the vacuum pumping station and, consequently, to ensure a safe situation in the mine workings. Comparison of current indicators with standard ones in the current time mode will allow timely detection of dangerous situations and make appropriate decisions aimed at reducing accidents at gas-rich coal mines

Key words: degassing, hydraulic co-resisting, underground vacuum gas pipeline, methane-air mixture, fiberglass pipeline, tightness, greenhouse effect, monitoring, safety.

For citation: Malashkina V.A. Monitoring the effectiveness of the coal mine degassing system-the basis for safe work of miners. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(6-1):38-45. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-38-45.

Введение

Источники положительного эффекта, получаемого при дегазации угольных шахт, можно разделить на две группы.

Первая группа — организационный эффект: повышение безопасности труда горнорабочих; повышение производительности труда; уменьшение аварийности и травматизма; снижение количества профессиональных заболеваний.

Вторая группа — технический эффект: рост объемов добычи угля на предприятии в целом; увеличение срока эксплуатации горно-шахтного оборудования; получение метановоздушной смеси, пригодной без дополнительного обогащения к полезному использованию.

Повышение безопасности труда горнорабочих угольных шахт, то есть уменьшение аварийности и травматизма, а также снижение количества профессиональных заболеваний возможно не только за счет постоянного мониторинга основных технических

показателей работы системы дегазации, но и вовремя принятых мер по достижению максимально возможных характеристик для данной системы. Гидравлическое сопротивление системы подземных газопроводов должно быть минимальным для данных условий эксплуатации, а герметичность — максимальной.

Направления повышения эффективности дегазации угольных шахт

Основным направлением по повышению эффективности работы систем дегазации в настоящее время является совершенствование способов и средств каптирования шахтного метана из источников дегазации, а также его транспортирования по подземным вакуумным газопроводам с минимальными потерями по давлению и концентрации метана в метановоздушной смеси, доставляемой на поверхность или к потребителю. Любой из известных способов дегазации может быть осуществлен дегазационной установ-

кой, которая оборудуется вакуум-насосами, создающими требуемое разрежение в разветвленном подземном газопроводе, подсоединенном к дегазационным скважинам. Газопровод, как правило, состоит из стальных бесшовных цельнотянутых или стеклопластиковых звеньев труб, соединяемых с помощью фланцев, фасонных частей (переходов, колен, тройников и т. д.), арматуры (кранов, задвижек, вентилей и др.), специального оборудования (водоотделителей, водоотводчиков и т. п.) и различного типа креплений [1, 2].

Условия монтажа и эксплуатации подземных дегазационных трубопроводов таковы, что имеют место подсосы воздуха из горных выработок через неплотности соединений звеньев труб внутрь газопроводов. Уменьшается содержание метана в смеси, транспортируемой на поверхность, а, следовательно, снижается эффективность использования не только дегазационной установки, но и всей системы дегазации в целом. Кроме того, при подаче метановоздушной смеси на поверхность за счет подсосов воздуха из окружающей шахтной атмосферы в газопроводе концентрация метана в смеси может войти в недопустимый правилами безопасности предел — от 5 до 15 % [1, 3].

Поэтому в процессе эксплуатации дегазационной установки необходимо постоянно вести мониторинг герметичности соединений подземного газопровода и при отклонении ее от нормы своевременно принимать соответствующие меры. Самый простой способ мониторинга состоит в контроле концентрации метана в газовой смеси у скважин и на вакуум-насосной станции. Кроме того, необходимо вести постоянный контроль за потерями давления по длине газопровода.

Для обеспечения качественной доставки метановоздушной смеси

от скважин к потребителю или на поверхность с минимальными потерями по концентрации метана, прежде всего, необходимо: выполнять рекомендации по монтажу и правильной эксплуатации подземных вакуумных дегазационных трубопроводов [1], в особенности соединений звеньев труб, а также иметь нормативные показатели негерметичности, учитывающие все условия эксплуатации для каждого конкретного газопровода [2].

В соответствии с «Инструкцией по дегазации...» [1] рекомендуется показателем негерметичности вакуумных дегазационных газопроводов принимать $1 \text{ м}^3/\text{км}$, что в большинстве случаев не соответствует действительности.

Для объективной оценки герметичности системы подземных дегазационных газопроводов необходимо не только правильно, то есть с учетом всех оказывающих влияние факторов, определить показатель негерметичности и сравнить его с нормативным значением.

Действительный параметр, характеризующий реальную негерметичность вакуумного газопровода, можно определять по формуле

$$B_p = \frac{\left(Q_2 - \frac{a_{M2} Q_2}{a_{M1}} \right) \rho_B}{(p_1 - p_2) a_{M1} l},$$

то есть

$$B_p = \frac{Q_B (a_{M1} - a_{M2}) \rho}{(p_1 - p_2) a_{M1} l}$$

$$\text{или } B_p = \frac{Q_B (a_{M1} - a_{M2}) \rho}{(p_1 - p_2) a_{M2} l},$$

где B_p — показатель, характеризующий реальную негерметичность газопровода, приходящуюся на единицу длины

участка, при изменении в нем вакуума на один Паскаль, с; ρ_B — плотность окружающего воздуха на участке, кг/м³; a_{M1} , a_{M2} — объемное содержание метана в транспортируемой метановоздушной смеси соответственно в начале и конце участка, дол. ед.; p_1 , p_2 — давление в газопроводе соответственно в начале и конце участка, Па; Q_2 — объемный расход метановоздушной смеси в конце участка.

Нормативный параметр негерметичности участка подземного вакуумного газопровода предлагается определять по зависимости

$$B_H = \frac{\Delta Q_M}{l(p_1 - p_2)}$$

$$\text{или } B_H = \frac{K \Delta p - 0,1 \Delta M_H \frac{D_H}{D_{BH}}}{(p_1 - p_2) Cl \frac{D_H}{D_{BH}}} 10^{-2},$$

где ΔM — нормативное значение дополнительного момента затягивания болтов фланцевого соединения звеньев подземного дегазационного газопровода, Н·м; ΔQ_M — массовые притечки воздуха в газопровод.

Максимальное рекомендуемое значение дополнительного нормативного момента ΔM_H для плоских прокладок, используемых в металлических и стеклопластиковых фланцах, приведено в табл. 1.

Таблица 1
Значения ΔM_H , Н·м

Отношение D_H / D_{BH}	Материал фланца	
	сталь	стеклопластик
1,27	80	70
1,33	70	60
1,39	60	50

Систему дегазационных вакуумных подземных газопроводов можно

считать герметичной, если отклонение действительного параметра негерметичности от нормативного значения не превышает 8–10% [4].

При больших значениях отклонений необходимо определить параметры действительной и нормативной негерметичности для всех участков, входящих в систему. Для участков с отклонениями параметра негерметичности более 12% нужно заменить профиль прокладки фланцевого соединения [5].

Порядок определения оценки герметичности вакуумных дегазационных газопроводов предлагается следующий. Для проведения оценки герметичности участка подземного дегазационного трубопровода необходимы следующие исходные данные: a_{MHD} , a_{MKD} — действительное объемное содержание метана в смеси соответственно в начале и конце участка, дол. ед.; a_{M1} — объемное содержание метана в смеси в начале первого звена трубы, дол. ед; $a_{MHD} = a_{M1}$; p_{HD} , p_{KD} , p_{KD} — действительное абсолютное давление в трубопроводе соответственно в начале и конце участка, Па; p_1 — абсолютное давление в трубопроводе в начале первого звена трубы, Па; T — температура метановоздушной смеси, К; Q_{HD} — действительный объемный расход смеси в начале участка, то есть первого звена трубы, м³/с; $Q_{HD} = Q_1$; p_0 — барометрическое давление атмосферы окружающей среды, Па; D_H , D_{BH} — соответственно наружный и внутренний диаметры прокладки выбранного профиля, м; l — длина участка трубопровода, м; l_3 — длина одного звена трубопровода, м; h — глубина расположения горных выработок рассматриваемого участка, м; R_B — газовая постоянная воздуха, Дж/кг·К; d_B — внутренний диаметр трубопровода на рассматриваемом участке, м; ρ_M — плотность метана, кг/м³; Q_1 — объемный расход

смеси в начале первого звена газопровода, м³/с.

Плотность метановоздушной смеси в начале первого звена дегазационного газопровода определяется по формуле

$$\rho_1 = 36,53 a_{M1}^{-0,33} \rho_1^{0,89} T^{-2,49}.$$

Массовый расход метановоздушной смеси в начале первого звена трубопровода

$$Q_{m1} = Q_1 \rho_1.$$

Массовый расход метана в начале участка или первого звена трубы

$$Q_{mM1} = a_{M1} \rho_M Q_1.$$

Газовую постоянную метановоздушной смеси в начале первого звена трубы определяем по зависимости [4]

$$R_1 = R_B \left(1 + 0,81 \frac{Q_{mM1}}{Q_{m1}} \right).$$

Абсолютное давление метановоздушной смеси в конце первого или начале второго звена трубы

$$p_2 = \sqrt{p_1^2 - \frac{1,62 Q_{m1}^2 R_1 T \lambda}{d_b^5}},$$

где λ — коэффициент Дарси.

Барометрическое давление окружающей среды в горных выработках, в районе рассматриваемого участка, если отсутствуют данные измерений, можно определить по формуле [4]

$$p_0 = p_{\min} e^{\frac{gh}{R_B T}}$$

или приближенно по формуле

$$p_0 \approx p_{\min} \left(1 + \frac{gh}{R_B T} \right),$$

где g — ускорение свободного падения, м/с²; p_{\min} — минимальное атмосферное давление в условиях данной местности. Для Кузбасса $p_{\min} = 94,3$ кПа [4].

Разрежение в трубопроводе в конце первого или начале второго звена

$$\Delta p = p_0 - p_2.$$

Массовые подсосы воздуха в вакуумный газопровод в конце первого — начале второго звена

$$\Delta Q_{m1-2} = \frac{K \cdot \Delta p - 0,1 \Delta M \frac{D_H}{D_{BH}}}{C \frac{D_H}{D_{BH}}} 10^{-2},$$

где K и C — коэффициенты в уравнении регрессии (выбираются в зависимости от материала фланцевого соединения по табл. 1).

Объемное содержание метана в метановоздушной смеси в начале второго звена

$$a_{M2} = \frac{a_{M1} Q_1}{Q_1 - \frac{\Delta Q_{m1-2}}{\rho_B}},$$

где ρ_B — плотность воздуха.

Массовый расход метановоздушной смеси в начале второго звена

$$Q_{m2} = Q_{m1} + \Delta Q_{m1-2}.$$

Газовая постоянная метановоздушной смеси в начале второго участка

$$R_2 = R_B \left(1 + 0,81 \frac{Q_{mM2}}{Q_{m2}} \right),$$

где $Q_{mM2} = Q_{mM1}$, так как массовый расход метана является постоянным для всех участков.

Так как количество соединений звеньев труб на рассматриваемом участке равно l/l_3 может быть значительным (на одном километре длины газопровода количество соединений составляет 250–300), то расчеты по предлагаемой методике рационально производить с помощью ЭВМ.

После выполнения расчетов должны быть получены следующие результаты: $a_{мкр}$ — расчетное содержание метана в смеси в конце участка; $p_{кр}$ — расчетное абсолютное давление метановоз-

душной смеси в газопроводе в конце участка; $Q_{кр}$ — расчетный объемный расход метановоздушной смеси в конце участка.

Определяем действительный параметр, — B_p , — характеризующий негерметичность участка газопровода

$$B_p = \frac{Q_{кд} (a_{мнд} - a_{мкд}) \rho_v}{(\rho_{нд} - \rho_{кд}) a_{мнд} l}$$

$$\text{или } B_p = \frac{Q_{нд} (a_{мнд} - a_{мкд}) \rho_v}{(\rho_{нд} - \rho_{кр}) a_{мкд} l}.$$

Нормативный параметр негерметичности соединений звеньев труб на рассматриваемом участке определяем по зависимости

$$B_n = \frac{Q_{кр} (a_{мнд} - a_{мкд}) \rho_v}{(\rho_{нд} - \rho_{кр}) a_{мнд} l}.$$

После сравнения значений B_p и B_n можно сделать заключение о возможности улучшения герметичности фланцевых соединений, выяснить,

какую максимальную концентрацию метана в газовой смеси можно получить на входе в вакуум-насосную станцию. Это позволит повысить потенциал полезного использования метановоздушной смеси [6–8] и снизить выбросы шахтного метана в окружающую атмосферу [9, 10], а также метана из глубоких рудников [11, 12], что будет способствовать снижению проявлений парникового эффекта.

Заключение

Проблема повышения безопасности труда горнорабочих газовых угольных шахт и глубоких рудников с проявлением выделения метана может быть решена только при эффективной работе систем дегазации с максимально возможными показателями по герметичности вакуумных подземных газопроводов и их низком сопротивлении для данных конструктивных параметров, условий эксплуатации, материала труб и их соединений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по дегазации угольных шахт. Серия 05. Выпуск 22. — М.: Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности, 2012. — 250 с.
2. Малашкина В.А. Направления повышения эффективности подземной дегазации для улучшения условий труда шахтеров угольных шахт // ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018 — № 7. — С. 69–75. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-7-0-69-75
3. Гарипов Р.Ф., Шарифутдинова Г.М., Барахнина В.Б. Анализ рисков на основе оценки культуры безопасности // Безопасность труда в промышленности. — 2019. — №9. — С. 82–88.
4. Малашкина В.А. Направления повышения эффективности использования систем дегазации угольных шахт // ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — №6. — С. 206–214.
5. Малашкина В.А. Дегазационные установки. 2-е изд.— М.: Изд-во МГГУ, 2012 — 190 с.
6. Kulikova E. (2019) Risk Assessment of Dangerous Natural Processes and Phenomena in Mining Operations. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham. pp. 21–33, 2019.
7. Şuvar M.C., Lupu C., Arad V., Cioclea D., Păsculescu V.M., Mija N. Computerized simulation of mine ventilation networks for sustainable decision making process // Environmental Engineering and Management Journal. 2014. Vol. 13. No. 6. pp. 1445–1451.

8. *Batugin A.S., Kobytkin A.S., Musina V.R.* Effect of geodynamic setting on spontaneous combustion of coal waste dumps. *Eurasian mining*. 2019. No. 2. pp. 64–69. DOI: 10.17580/em.2019.02.14.
9. *Junjie Chen, Deguang Xu.* Ventilation air Methane of Coal Mines as the Sustainable Energy Source // *American Journal of Mining and Metallurgy*. 2015. Vol. 3. Iss. 1. P. 1–8.
10. *Krings T., Gerilowski K., Buchwitz M., Hartmann J., Sachs T., Erzinger J., Burrows J., Bovensmann H.* Quantification of methane emission rates from coal mine ventilation shafts using airborne remote sensing data // *Atmospheric Measurement Techniques*. 2013. Vol. 6. P. 151–166.
11. Чмыhalова С.В. Разработка методики прогнозной оценки качества рудно-сырьевой базы горнодобывающего производства // *Горный журнал*. 2019, № 8. С. 18–24.
12. UNECE, Best practice guidance for effective methane drainage and use in coal mines, (U.N. Economic Commission for Europe, ECE Energy Series, No. 31, Geneva, Switzerland, Accessed on 11 March 2017 at: http://www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/cmm/pub/BestPractGuide_MethDrain es31.pdf, 2017). **МИАБ**

REFERENCES

1. *Instrukciya po degazacii ugol'nyh shaht* [Instructions for degassing coal mines]. Seriya 05. Vypusk 22. Moscow: ZAO «Nauchno -tekhnicheskij centr issledovanij problem promyshlennoj bezopasnosti», 2012. 250 p. [In Russ]
2. Malashkina V.A. Coal mine degasification efficiency enhancement to improve working conditions of miners. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018. no. 7. pp. 69–75. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-7-0-69-75 [In Russ]
3. Garipov R.F., Sharafutdinova G.M., Barahnina V.B. Analysis risk based on the assessment of safety culture. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*. no. 9, 2019, Moscow, izd-vo ZAO NTC PB. pp. 82–88. [In Russ]
4. Malashkina V.A. Directions of increase of efficiency of degasification systems coal mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* no. 6. 2019. pp. 206–214. [In Russ]
5. Malashkina V.A. *Degazacionnye ustanovki* [Degassing unit]. 2-e izd. Moscow: Izd-vo MGGU, 2012. 190 p. [In Russ]
6. Kulikova E.Yu. (2019) Risk Assessment of Dangerous Natural Processes and Phenomena in Mining Operations. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham. pp. 21–33, 2019.
7. Şuvar M.C., Lupu C., Arad V., Cioclea D., Păsculescu V.M., Mija N. Computerized simulation of mine ventilation networks for sustainable decision making process. *Environmental Engineering and Management Journal*. 2014. Vol. 13. no. 6. pp. 1445–1451.
8. *Batugin A.S., Kobytkin A.S., Musina V.R.* Effect of geodynamic setting on spontaneous combustion of coal waste dumps. *Eurasian mining*. 2019. no. 2. pp. 64–69. DOI: 10.17580/em.2019.02.14.
9. *Junjie Chen, Deguang Xu.* Ventilation air Methane of Coal Mines as the Sustainable Energy Source. *American Journal of Mining and Metallurgy*. 2015. Vol. 3. Iss. 1. R. 1–8.
10. *Krings T., Gerilowski K., Buchwitz M., Hartmann J., Sachs T., Erzinger J., Burrows J., Bovensmann H.* Quantification of methane emission rates from coal mine ventilation shafts using airborne remote sensing data. *Atmospheric Measurement Techniques*. 2013. Vol. 6. pp. 151–166.
11. Chmyhalova S.V. Development of a method for predictive assessment of the quality of the ore and raw material base of mining production. *Gornyj zhurnal*. 2019, no. 8. pp. 18–24. [In Russ]
12. UNECE, Best practice guidance for effective methane drainage and use in coal mines, (U.N. Economic Commission for Europe, ECE Energy Series, no. 31, Geneva, Switzerland,

Accessed on 11 March 2017 at: [http://www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/cmm/pub/BestPractGuide_MethDrain es31.pdf](http://www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/cmm/pub/BestPractGuide_MethDrain_es31.pdf), 2017).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Малашкина Валентина Александровна — доктор технических наук, профессор кафедры БЭГП, e-mail: Promecolodgy@mail.ru, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Ленинский пр., 4, Москва, 119049.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Malashkina V.A., Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Department of «Safety and ecology mining production» of the Moscow mining Institute of the National university of science and technology «MISIS», Russia.

Получена редакцией 11.03.2020; получена после рецензии 07.04.2020; принята к печати 20.05.2020.

Received by the editors 11.03.2020; received after the review 07.04.2020; accepted for printing 20.05.2020.

