

ISSN 1999-4125 (Print)

ISSN 2949-0642 (Online)

Научная статья

УДК 622.817.47

DOI: 10.26730/1999-4125-2024-4-109-116

ОЦЕНКА ОБЪЕМОВ ПОДСАСЫВАЕМОГО ВОЗДУХА В МАГИСТРАЛЬНЫХ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ ПРИ КАПТИРОВАНИИ МЕТАНАНовик Александр Васильевич¹, Герике Борис Львович^{2,3},
Леконцев Юрий Михайлович¹¹ Институт горного дела им. Н.А. Чинакала² Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева³ Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН

*для корреспонденции: gbl_42@mail.ru

**Информация о статье**

Поступила:

28 февраля 2024 г.

Одобрена после
рецензирования:

25 июля 2024 г.

Принята к публикации:

29 августа 2024 г.

Опубликована:

26 сентября 2024 г.

Ключевые слова:угольный пласт, метан,
метановоздушная смесь,
подземная дегазация,
трубопровод, вакуум, потери,
давление, расход**Аннотация.**

На шахтах Кузбасса в основном применяются подземные технологии дегазации угольных пластов, включающие различные схемы бурения сетки дегазационных скважин. С увеличением глубины отработки угольных пластов увеличивается не только их метаносность, но и снижение эффективности газоотвода из дегазационных скважин из-за падения вакуума в транспортирующей метановоздушную смесь трубопроводе, что требует создания средств малой механизации для решения этой задачи. Для этого в первую очередь необходимо проанализировать уровень потерь вакуума во вспомогательных и магистральном трубопроводах. В результате аналитических расчетов работы вакуумной системы по трем основным показателям – давлению, объему каптированного газа и его температуре – установлено, что наибольшие потери вакуума происходят в местах стыковки трубопроводов с дегазационными скважинами. Это нашло свое подтверждение в результатах мониторинга за работой газоотводящего трубопровода каптированного метана на ш. им. С. Д. Тихова АО «СУЭК-Кузбасс», которые показали, что величина подсоса воздуха превышает допустимое значение в 2,5-3 раза. Анализ результатов выполненных исследований позволил выявить наиболее узкие места в системе каптирования метана и разработать предложения по улучшению системы трубопроводного транспорта газовой смеси за счет встраивания в систему дополнительных устройств автономной компенсации потерь вакуума.

Для цитирования: Новик А.В., Герике Б.Л., Леконцев Ю.М. Оценка объемов подсосываемого воздуха в магистральном и вспомогательных трубопроводах при каптировании метана // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2024. № 4 (164). С. 109-116. DOI: 10.26730/1999-4125-2024-4-109-116, EDN: PLFNPN

Благодарности: Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук» проект FWEZ-2024-0013 «Создание многофункциональных систем мониторинга и прогноза газодинамических явлений, контроля напряженного состояния, разработка методов их предотвращения и оценки эффективности при подземной разработке угольных месторождений. 2024-2025 гг.» (рег. № 1022041300134-5-1.5.1;2.7.5).

Введение. Метановыделение из угольного массива – это основной фактор повышенной опасности ведения горных работ, поэтому работы по дегазации метаносодержащих

угольных пластов до начала горных работ (предварительная дегазация) и в период ведения отработки пласта (текущая дегазация), несмотря

на высокие капиталовложения и трудозатраты, являются обоснованными и целесообразными.

В Кузбассе в основном применяются подземные технологии дегазации угольных пластов, включающие различные схемы бурения сетки дегазационных скважин.

Большой вклад в области теории метаносодержания и дегазации угольных пластов внесли Айруни А.Т., Зайденварг В.Е., Золотых С.С., Малышев Ю.М., Ножкин Н.В., Трубецкой К.Н., Хрюкин В.Т., Чернов О.И. и ряд зарубежных ученых, в научных работах которых [1-7] отражены вопросы фазового содержания метана в угольных пластах, методы дегазации и каптажа метана.

Каптирование метана из дегазационных скважин осуществляется по объединенной сети магистральных и вспомогательных трубопроводов, при этом подсос воздуха существенно влияет на процесс дегазации угольного пласта.

Для отвода метана из скважины их устья оборудуются обсадной металлической или пластиковой трубой на глубину не менее 6 метров. Пространство (кольцевой зазор) между трубой и поверхностью скважины заполняется цементным раствором или быстротвердеющими химическими растворами (смолами). Возможно применение других стационарных пакерующих устье скважин устройств. В некоторых случаях при заметной визуальной трещиноватости стенок выработок на них наносятся герметизирующие покрытия, снижающие подсос воздуха.

Во всех случаях при обнаружении подсоса воздуха проводятся дополнительные мероприятия, способствующие его снижению или исключению.

Постановка задачи.

Системы дегазационных трубопроводов имеют стыковочные узлы – фланцевые и безфланцевые соединения основных магистральных трубопроводов и вспомогательных линий. Указанные соединения, включая элементы конструкций герметизации устья скважин, являются потенциальными источниками подсоса воздуха в систему каптирования метана. Пропорционально протяженности и разветвленности дегазационных трубопроводов, в том числе за счет подсосов воздуха, в системе повышается вакуумная составляющая, что снижает эффективность каптирования.

Повышение общего вакуума в сети дегазационных трубопроводов возможно установкой на поверхности шахты более мощной вакуумной компрессорной установки, что технически сложно и экономически не всегда целесообразно.

Поэтому необходима разработка и применение устройств автономной компенсации

вакуум-потерь. Такое устройство, как компенсатор подсоса воздуха (в дальнейшем КПВ), должно быть способно повышать степень вакуума во вспомогательной магистрали до нормативного значения.

Результаты.

Расчеты вакуумных систем выполняются на основе физических законов и параметров газа [8-10], которые оцениваются тремя основными показателями: давлением, количеством газа (объем, расход) и температурой. Согласно инструкции по дегазации угольных шахт [11], средняя величина подсоса воздуха в дегазационном трубопроводе в местах подключения скважин:

$$P_c = P_{уд} \sqrt{V_{уд}}, \text{ м}^3/\text{мин}, \quad (1)$$

где $V_{уд}$ – разрежение в устье скважины (МПа) относительно давления в выработке; $P_{уд}$ – табличное значение, зависит от способа дегазации. Для пластовых скважин $P_{уд} = 0,005(\text{м}^3/\text{мин} \times \text{МПа}^{1/2})$ или $0,14(\text{м}^3/\text{мин} \times \text{МПа}^{1/2})$.

Из формулы (1) следует, что расчетное значение подсоса P_c воздуха зависит от протяженности трубопроводов и разницы давлений в скважине относительно давления в выработке.

Перепад давлений на транзитном участке газопровода постоянного диаметра, не содержащем врезок, то есть источников притока смеси, за исключением подсосов воздуха через стыки труб газопровода, определяется по формуле [12-15]:

$$P_1^2 - P_2^2 = 4,8 \cdot \frac{10^{-5} \cdot Q_{см}^2 \cdot L \cdot \gamma_{см}}{d^{5,33}}, \quad (2)$$

где P_1 – давление газа на входе в участок, мм рт. ст.; P_2 – давление газа на выходе с участка, мм рт. ст.; $Q_{см}$ – дебит смеси на выходе с участка, $\text{м}^3/\text{мин}$; L – длина участка, м; $\gamma_{см}$ – объемный вес смеси, $\text{кг}/\text{м}^3$; d – диаметр газопровода, м.

При этом на давление P_1 и P_2 накладываются очевидные ограничения, обусловленные физическим смыслом:

$$P_{выр} > P_1 > P_2 > 0, \quad (3)$$

где $P_{выр}$ – давление в выработке, МПа.

Объемный вес смеси определяется по формуле:

$$\gamma_{см} = 5,37 \cdot 10^{-3} \cdot (224 - C), \quad (4)$$

где C – объемная концентрация метана в смеси, %.

Из-за невозможности учета местных сопротивлений в формуле (2) суммарную длину трубопроводов L увеличивают на 10%.

Объемный дебит воздуха в системе трубопроводов Q_v и метана Q_m с объемным дебитом смеси $Q_{см}$ определяется соотношениями:

$$Q_m = 0,01 \cdot C \cdot Q_{см}, \quad (5)$$

$$Q_v = (1 - 0,01 \cdot C) \cdot Q_{см}, \quad (6)$$

Таблица 1. Первая серия экспериментальных замеров
Table 1. The first series of the experimental measures

№ скважины	Давление в выработке, кПа	Давление в трубопроводе, кПа	Разряжение, кПа
1	100,5	96,8	3,66
2	100,5	96,8	3,64
3	100,5	96,8	3,65
4	100,1	95,6	4,52
5	101,6	95,8	5,85
6	101,6	95,6	5,95
7	103,0	97,2	5,76
8	101,2	96,1	5,12
9	101,1	95,0	6,21
10	101,2	95,1	6,07
11	103,0	97,3	5,69
12	103,3	97,3	5,95
13	102,8	97,0	5,81
14	102,8	96,3	6,49
15	103,1	95,8	7,25
16	103,1	95,8	7,27
17	103,1	95,8	7,31
18	103,1	95,5	7,65
19	102,8	95,7	7,11
20	102,4	94,5	7,88
21	102,4	94,4	7,93
22	103,8	96,3	7,55
23	103,8	96,2	7,56

Средняя величина подсосов воздуха в газопровод Π_r , м³/мин., через стыки труб определяется по формуле:

$$\Pi_r = 0,001 \cdot L, \text{ м}^3/\text{мин.} \quad (7)$$

До того момента, когда горные выработки в процессе движения очистного забоя начинают влиять на газовыделение дегазационных скважин, значения допустимых подсосов воздуха для всех видов скважин принимаются равными 0,005 м³/мин.

Значения V_y не должны быть меньше минимальных значений $V_{\text{мин}}$, устанавливаемых нормативно для каждого способа дегазации:

$$V_y \geq V_{\text{мин}}. \quad (8)$$

Приток метана из дегазационной скважины задается в соответствии с теоретическим расчетом или опытными данными, полученными в ходе проведения очистных работ соседних лав.

Соотношения баланса в точках подключения дегазационных скважин к газопроводу имеют вид:

$$Q_{Mi} = Q_{Cmi} + Q_M + \Pi_c, \quad (9)$$

где Q_{Mi} , Q_{Cmi} – соответственно дебит метана, дебит метановоздушной смеси в газопроводе непосредственно перед точкой подключения скважины, м³/мин; Q_M – дебит метана из дегазационной скважины, м³/мин; Π_c – дебит воздуха из дегазационной скважины, м³/мин.

На шахте им. С. Д. Тихова АО «СУЭК-Кузбасс» были проведены замеры действительного изменения вакуума в

дегазационных трубопроводах, проложенных вдоль конвейерного штрека.

В Таблице 1 представлены экспериментальные замеры параметров движения потока газовой смеси по дегазационному трубопроводу, проложенному вдоль конвейерного штрека КШ 23-1-6. Для повышения достоверности полученных результатов в тех же контрольных точках были проведены повторные замеры по прошествии 5 суток (Таблица 2).

Систематизация собранных материалов и данных по шахтным замерам параметров движения газовой смеси по дегазационному трубопроводу позволила определить средние скорости $V_{\text{ср}}$ смеси, подключенных к магистрали по формулам:

$$V_{\text{ср}} = \frac{V_{\text{max}} + V_{\text{min}}}{2}, \quad (10)$$

$$Q_{\text{ср}} = S_{\text{тр}} \cdot V_{\text{ср}}, \quad (11)$$

где $S_{\text{тр}}$ – площадь сечения дегазационного трубопровода.

Средние расчетные значения величины $Q_{\text{ср}}$ и замерные натурные параметры давлений: P – атмосферное давление в горной выработке, кПа; P_T – давление в трубопроводе, кПа; $P_{\text{рт}}$ – давление разряжения в трубопроводе, кПа, представлены в Таблице 3 и по ним построена диаграмма изменения этих параметров, которая представлена на Рис. 1.

Таблица 2. Повторная серия экспериментальных замеров

Table 2. Repeated series of the experimental measures

№ скважины	Атмосферное давление в выработке, $P_{атм}$, кПа	Абсолютное давление в выработке, кПа	Атмосферное давление в трубопроводе, $P_{атм}$, кПа	Абсолютное давление в трубопроводе, кПа	Разряжение в скважине, кПа
1	104,85	102,24	101,80	100,20	2,04
2	105,29	102,67	102,90	100,37	2,30
3	105,30	102,68	102,10	100,33	2,34
4	105,32	102,70	102,20	100,24	2,46
5	105,33	102,71	102,0	100,04	2,66
6	104,85	102,24	101,75	99,72	2,52
7	104,85	102,24	101,75	99,73	2,51
8	105,36	102,74	102,02	99,51	3,23
9	105,32	102,70	101,95		
10	105,30	102,68	102,10		
11	105,29	102,67	101,97	99,49	3,18
12	105,30	102,68	101,96	99,47	3,21
13	105,31	102,69	101,90	99,41	3,28
14	105,31	102,69	101,90	99,41	3,28
15	105,31	102,69	102,11	99,62	3,06
16	105,32	102,70	102,12	99,61	3,08
17	105,33	102,71	101,92	99,47	3,24
18	105,33	102,71	101,92	99,47	3,24
19	105,35	102,72	101,85	99,39	3,33
20	105,36	102,74	101,85	99,36	3,37
21	105,38	102,75	101,97	99,43	3,33

Таблица 3. Средние показатели параметров потока газозвушной смеси в дегазационных трубопроводах

Table 3. Average indicators of gas-vacuum mixture flow in degassing pipe-lines

№ скв.	Давление в выработке*, кПа	Давление в трубопроводе, кПа	Разряжение в трубопроводе, кПа	Скорость потока $V_{ср}$, м/с	Расход $Q_{ср}$, м ³ /с	Подсос воздуха**, $П_{уд}$, м ³ /с
4	$P_{min} = 100,1$	$P_{г min} = 95,6$	$\Delta P_{г min} = 5,5$	1,58	0,0031	0,00076 – 0,00098
22	$P_{max} = 103,8$	$P_{г max} = 96,3$	$\Delta P_{г max} = 7,5$			
-	$P_{ср} = 101,95$	$P_{г ср} = 95,95$	$\Delta P_{г ср} = 6,5$			
Рекомендуемые средние значения						
	-	-	До 50	До 25	0,046-0,175	0,00042

* - давление в штреке зависит от суточного изменения атмосферного давления и изменения глубины выработки;

** - данные представлены службой вентиляции шахты.

Далее аналитически была рассчитана мощность всасывания газозвушной смеси в дегазационный трубопровод из скважин №1, №10 и №21 по известной формуле [16-19]:

$$N_{вс} = Q_{ср} \cdot P_p \quad (12)$$

Результаты вычислений представлены в Таблице 4.

Исходя из допустимых значений, в соответствии с [12] скорость потока газозвушной смеси не должна превышать 25 м/с при номинальном расходе $Q_{ср} = 2,5$ м³/мин и диаметре трубопровода 50-70 мм. Следовательно, для создания оптимальных условий газоотдачи из дегазационных скважин

по всей линии необходимо увеличить расход смеси в несколько раз [20].

Заклучение. Результаты проведенных исследований позволили сделать следующие выводы:

- наибольшее значение подсоса воздуха в дегазационный трубопровод происходит в местах его стыковки с дегазационными скважинами;
- величина подсоса воздуха превышает допустимое значение в 2,5–3 раза;
- величина вакуума в дегазационном трубопроводе неравномерно распределена по его длине и уменьшается по мере удаления от очистного забоя;

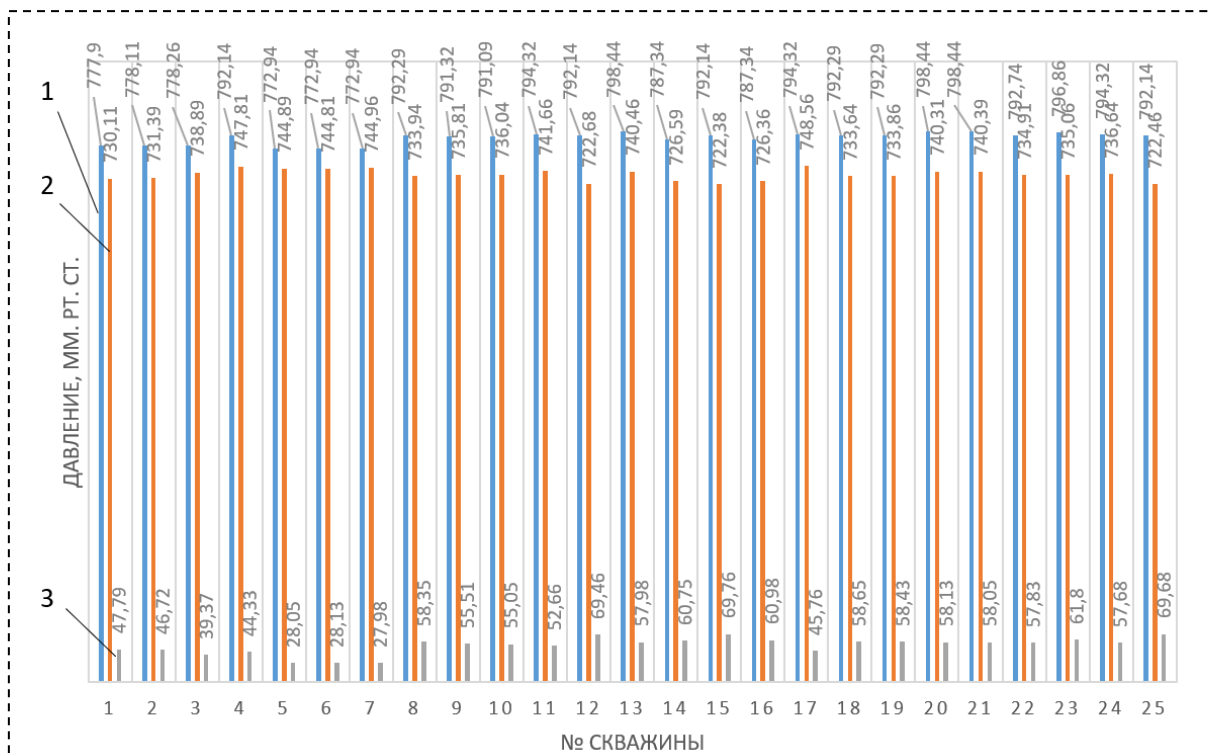


Рис. 1. Диаграмма изменения параметров газозвушной смеси. 1 – давление в трубопроводе; 2 – давление в конвейерном штреке; 3 – разница давлений в трубопроводе и в выработке
 Fig. 1. The diagram of gas-vacuum mixture parameters changes. 1 – Pressure in pipeline; 2 – pressure in belt entry; 3 – pressure difference in pipe-line and in the coal working

Таблица 4. Расчет мощности всасывания газозвушной смеси
 Table 4. Calculating absorb power of gas-vacuum mixture

№ скважины (точка замера)	Разряжение в трубопроводе, P _p , кПа	V _{ск} , м/с	N _{вс} , Вт
1	6,35	1,58	0,0197
10	7,32		0,0226
21	7,72		0,0239

– для повышения газоотдачи из скважин необходимо применение в сети дегазационных трубопроводов дополнительных вакуум-генераторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Подготовка и разработка высокогазонасных угольных пластов / под общ. ред. Рубана А. Д., Щадова М. И. М. : изд-во «Горная книга», 2010. 500 с.
2. Малышев Ю. Н., Трубецкой К. Н., Айруни А. Т. Фундаментально-прикладные методы решения проблемы метана угольных пластов. М. : изд-во Акад. горн. наук, 2000. 517 с.
3. Зайденварг В. Е., Айруни, Р. Л. Галазов [и др.] Комплексная разработка метаноносных угольных месторождений/ М. : ЦНИИЭИуголь, 1993. 144 с.
4. Из недр кузбасских кладовых – горючий газ метан. Газпром Добыча Кузнецк; [сост.: Золотых С. С., Арнаутов В. С., Сурин Е. В.] Кемерово : Кузбассвуиздат, 2015. 247 с.
5. Somers M. J. Schultz H. L. Thermal

Oxidation of Coal Mine Ventilation Air Methane // 12th U.S. North American Mine Ventilation Symposium 2008, Reno, NV (U.S.): Wallace. 2008.

6. Kissell F. N. Handbook for Methane Control in Mining. Pittsburgh, PA (U.S.): Pittsburgh Research Laboratory, National Institute for Occupational Safety and Health. 2006.
7. Brandt J. Kunz E. Gas Drainage in High Efficiency Workings in German Coal Mines. Presentation at the 21st World Mining Congress, session «Methane Treatment», 2008. Pp. 41–50. Krakau.
8. Иванов В. И. Вакуумная техника: Учеб. пособие. СПб : Университет ИТМО, 2016. 129 с.
9. Розанов Л. Н. Вакуумная техника: Учебник для вузов. М. : Высшая школа. 2007. 391 с.
10. Солдатова К. В. Принцип действия и методика расчета турбомолекулярного вакуумного насоса: методические указания к курсовой работе. СПб. : Изд-во политехн. ун-та, 2011. 52 с.
11. Инструкция по дегазации угольных шахт // Серия 05. Выпуск 22. М. : Закрытое акционерное общество «Научно – технический центр

исследований проблем промышленной безопасности». 2012. 250 с.

12. Пятибрат В. П. Упрощенный способ расчета нагнетателей. Методические указания. Ухта, УГТУ. 2013. 250 с.

13. Кампти А. Аэродинамика компрессоров. Пер. с англ. М.: Мир, 2000. 688 с.

14. Glushkov T. D. [и др.] Numerical investigation of the air flows in the cab of a truck in three different regimes of its ventilation // Journal of Engineering Physics and Thermophilic. 2017. №90. Вып. 2. С. 405–411.

15. Малашкина В. А. Дегазационные установки. М.: МГТУ, 2007. 189 с.

16. Каркашидзе Г. Г., Макаров В. А. Оптимизация режима откачки метановоздушной смеси из выработанного пространства через длинные направленные скважины // Горный

информационно-аналитический бюллетень. 2016. №10. С. 212–221.

17. Шевченко Л. А. Расчет параметров глубокой дегазации угольных шахт // Известия вузов. Горный журнал. 2011. № 5. С. 45–49.

18. Шевченко Л. А. Процессы газоотдачи угленосного массива в длинные скважины // Вестник КузГТУ. 2014. №3. С. 52–55.

19. Сластунов С. В., Ютяев Е. П., Мазаник Е. В., Садов А. П. Разработка и совершенствование технологий пластовой дегазации для эффективной и безопасной отработки угольных пластов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2018. № 11 (специальный выпуск 49). С. 13–22.

20. Dennis A., Wixom B., Tegarden D. Systems analysis and design: an object-oriented approach with UML. Wiley, 2020. 544 p.

© 2024 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Новик Александр Васильевич – научный сотрудник Института горного дела им. Н.А. Чинакала, г. Новосибирск

Герике Борис Львович – доктор технических наук, профессор кафедры горных машин и комплексов Кузбасского государственного технического университета им Т.Ф. Горбачева, главный научный сотрудник лаборатории угольного машиноведения Федерального исследовательского центра угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово, gbl_42@mail.ru

Леконцев Юрий Михайлович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Института горного дела им. Н.А. Чинакала, г. Новосибирск

Заявленный вклад авторов:

Новик Александр Васильевич – сбор и анализ данных, обзор соответствующей литературы, написание текста.

Герике Борис Львович – научный менеджмент, обзор соответствующей литературы, концептуализация исследования, выводы.

Леконцев Юрий Михайлович – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, обзор соответствующей литературы, написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

EVALUATING THE VOLUM OF INDUCED AIR IN ARTERIAL AND UTILITY PIPE-LINES WHILE CAPTURING METHANE

Aleksandr V. Novik¹, Boris L. Gerike^{2,3},
Yuriy M. Lekontsev¹

¹ Institute of Coal FRC CCC SB RAS

² T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

³ Institute of Mining of the Siberian Branch of the RAS

*for correspondence: gbl_42@mail.ru



Abstract.

In the mines of Kuzbass, underground technologies for degassing coal seams are mainly used, including various schemes for drilling a grid of degassing

Article info

Received:

28 February 2024

Accepted for publication:

25 July 2024

Accepted:

29 August 2024

Published:

26 September 2024

Keywords: coal seam, methane, methane-air mixture, underground degassing, pipeline, vacuum, losses, pressure, consumption

wells. With an increase in the depth of mining of coal seams, not only their methane content increases, but also a decrease in the efficiency of gas removal from degassing wells due to a drop in vacuum in the pipeline transporting the methane-air mixture, which requires the creation of small-scale mechanization means to solve this problem. To do this, first of all, it is necessary to analyze the level of vacuum losses in the auxiliary and main pipelines. As a result of analytical calculations of the vacuum system operation by three main indicators: pressure, volume of captured gas and its temperature, it was established that the greatest vacuum losses occur at the junctions of pipelines with degassing wells. This was confirmed by the results of monitoring the operation of the captured methane gas exhaust pipeline on the S.D. Tikhov Highway of SUEK-Kuzbass JSC, which showed that the amount of air intake exceeds the permissible value by 2.5-3 times. The analysis of the results of the studies made it possible to identify the most bottlenecks in the methane accumulation system and to develop proposals for improving the system of pipeline transportation of the gas-air mixture by embedding additional devices for autonomous compensation of vacuum losses into the system

For citation: Novik A.V., Gerike B.L., Lekontsev Yu.M. Evaluating the volum of induced air in arterial and utility pipe-lines while capturing methane. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2024; 4(164):109-116. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2024-4-109-116, EDN: PLFNPN

Acknowledgments: The work was carried out within the framework of the state assignment of the Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, project FWEZ-2024-0013 "Creation of multifunctional systems for monitoring and forecasting gas-dynamic phenomena, stress state control, development of methods for their prevention and efficiency assessment in underground mining of coal deposits. 2024-2025" (reg. No. 1022041300134-5-1.5.1; 2.7.5).

REFERENCES

1. Preparation and development of highly gas bearing coal seams / under common edition of Ruban A.D., Shadov V.I. Moscow: Gornaya kniga; 2010. 500 p.
2. Malyshev Yu.N., Trubetzkoi K.N., Airuni A.T. Fundamental and applied methods for solving the problem of methane presence in coal seams. Moscow: Akademiya gornykh nauk; 2000. 517 p.
3. Zaidenvarg B.Ye., Airuni A.T., Galazov R.L. [et al.] Complex development of methane bearing coal deposits. Moscow: TsNIIElugol'; 1993.
4. Out of mineral resources of Kuzbass reserves – methane as combustion gas. Gazprom Dobycha Kuznetsk [comp. Zolotykh S. S., Arnautov V. S, Surin V. Ye.]. Kemerovo: Kuzbassvuzizdat; 2015. 247 p.
5. Somers M.J. Schultz H.L. Thermal Oxidation of Coal Mine Ventilation Air Methane. 12th U.S./ North American Mine Ventilation Symposium 2008, Reno, NV (U.S.); Wallace. 2008.
6. Kissell F.N. Handbook for Methane Control in Mining. Pittsburgh, PA (U.S.): Pittsburgh Research Laboratory, National Institute for Occupational Safety and Health. 2006.
7. Brandt J. Kunz E. Gas Drainage in High Efficiency Workings in German Coal Mines. Presentation at the 21st World Mining Congress, session «Methane Treatment». 208. Pp. 41–50. Krakau.
8. Ivanov V.I. Vacuum technology. Study guide, Sankt-Peterburgh: ITMO University; 2016. 129 p.
9. Rozanov L.N. Vacuum technology. Study guide for Universities. Moscow: Vysshaya shkola; 2007. 391 p.
10. Soldatova K.V. Action principle and calculation methodology of turbomolecular vacuum pump. Methodology guideline, Sankt-Peterburgh: Izdatl'stvo politekhnicheskogo universiteta; 2011. 52 p.
11. Regulation on degassing of coal mines. Series 05. Issue 22. Moscow. Closed Joint-Stock Company «Scientific technical center of industrial safety problems research», 2012. 250 p.
12. Pyatibrat V.P. Simplified method for calculating compressors. Methodology guideline. Ukhta UGTU; 2013, 250 p.
13. Kampasty A. Aerodynamics of compressors Moscow: Mir; 2000. 688 p.
14. Glushkov T.D. [et al.] Numerical investigation of the air flows in the cab of a truck in three different regimes of its ventilation. *Journal of Engineering Physics and Thermophilic*. 2017; 90(2):405–411.
15. Malashkina V.A. Degassing installations. Moscow: MGGU Publ.; 2007. 189 p.
16. Karkashidze G.G., Makarov G.G. Optimizing the mode of degassing methane-air mixture out of the mined out space through long directional drills. *Mining informational and analytical bulletin*. 2016; 10:212–221.
17. Shevchenko L.A. Calculation of the parameters of deep degassing of coal mines. *Mining Journal*. 2011; 5:45–49.

18. Shevchenko L.A. Processes of gas recovery of the coal massive into long drills. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2014; 3:52–55.

19. Slastunov S.V., Yutyaev E.P., Mazanik E.V. Sadov A.P. Development and Improvement of Reservoir Degassing Technologies for Effective and Safe Coal

Seams Mining. *Mining information and analytical bulletin*. 2018; 11(49):13–22.

20. Dennis A., Wixom B., Tegarden D. Systems analysis and design: an object-oriented approach with UML. Wiley, 2020. 544 p.

© 2024 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).
The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Aleksandr V. Novik — scientific researcher of Chinakal Institute of Mining of the Siberian Branch of the RAS. Novosibirsk city

Boris L. Gerike – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Professor for Mining Machinery and Complex Equipment Department of T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, chief research scientist for Coal Machine Science laboratory of Institute of Coal FRC CCC SB RAS, Kemerovo city
+7-903-907-33-02, gbl_42@mail.ru

Yuriy M. Lekontsev – candidate of Engineering sciences, leading researcher of Chinakal Institute of Mining of the Siberian Branch of the RAS. Novosibirsk city

Contribution of the authors:

Aleksandr V. Novik – data collection and analysis, review of relevant literature, writing of the text.

Boris L. Gerike – scientific management, review of relevant literature, conceptualization of research, conclusions.

Yuriy M. Lekontsev – setting a research task, conceptualizing research, reviewing relevant literature, writing a text.

All authors have read and approved the final manuscript.

