УДК
622.81.47

В.А. Малашкина

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ В ПОДЗЕМНОЙ ДЕГАЗАЦИОННОЙ ТРУБОПРОВОДНОЙ СЕТИ ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Одним из факторов, влияющих на эффективность и производительность дегазационных установок угольных шахт, является обеспечение необходимого разрежения в устье каждой дегазационной скважины. Увеличение протяженности функционирующей трубопроводной сети, согласно технологическому процессу дегазации, влечет за собой рост потерь разрежения, создаваемого вакуум-насосами. В большинстве случаев разность давлений на вакуум-насосной станции и у устья удаленной скважины превышает допустимую расчетную величину, и для создания у скважины необходимого разрежения, вводят в эксплуатацию большее количество вакуум-насосов. Это влечет за собой увеличение количества потребляемой электроэнергии и снижение эффективности работы вакуум-насосной станции. При этом ожидаемого увеличения объема каптируемого метана не происходит, в то время как возрастают подсосы воздуха в трубопроводную сеть, приводя к увеличению ее сопротивления. Очевидно, что с уменьшением сопротивления трубопровода потери давления по длине снижаются, и для формирования достаточной величины разрежения в устье удаленной скважины, необходимой для отсоса расчетного количества метана, возможно использование меньшего числа вакуум-насосов.
Ключевые слова: дегазация, конденсация, гидравлическое сопротивление, подземный вакуумный газопровод, метановоздушная смесь, коэффициент Дарси, стеклопластиковый трубопровод.

В настоящее время особо актуальной является задача обеспечения безопасности труда горнорабочих и безостановочного технологического процесса выемки угля за счет поддержания величины содержания метана в атмосфере подземных выработок угольных шахт в пределах установленных норм.

С увеличением глубины разработки угольных месторождений растет метановыделение в горные выработки и выработанные пространства. На большинстве шахт, разрабатывающих метаноносные угольные пласты, вентиляция не обеспечивает допустимые нормы концентрации метана в атмосфере горных

ISSN 0236-1493. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 2. С. 136–143.
© 2017. В.А. Малашкина.

выработок. Следовательно, в таких условиях необходима высокая эффективность работы систем дегазации.

Одним из факторов, влияющих на эффективность и производительность дегазационных установок угольных шахт, является обеспечение необходимого разрежения в устье каждой дегазационной скважины. К основным особенностям траспортирования метановоздушной смеси по подземному дегазационному трубопроводу на поверхность относится значительная протяженность подземной вакуумной трубопроводной сети, суммарная длина которой может достигать в пределах одного предприятия 15–20 км и более.

Увеличение протяженности функционирующей трубопроводной сети, согласно технологическому процессу дегазации, влечет за собой рост потерь разрежения, создаваемого вакуум-насосами. Так как на один километр длины дегазационного трубопровода приходится 200–250 соединений звеньев труб, то с ростом протяженности трубопровода увеличивается объем подсасываемого воздуха в систему дегазационных вакуумных трубопроводов через неплотности соединений звеньев труб, повышая гидравлическое сопротивление системы и значительно снижая концентрацию метана в каптируемой смеси. Давление в начале и конце участков трубопровода является важным показателем, характеризующим состояние трубопровода, его гидравлическое сопротивление, а наличие в нем водяных пробок в пониженных местах, ненормируемых подсосов воздуха из атмосферы горных выработок, или мест с другими отклонениями от рационального режима работы, значительно снижает пропускную способность трубопроводной сети.

В большинстве случаев разность давлений на вакуум-насосной станции и у устья удаленной скважины превышает допустимую расчетную величину, и для создания у скважины необходимого разрежения, вводят в эксплуатацию большее количество вакуум-насосов. Это влечет за собой увеличение количества потребляемой электроэнергии и снижение эффективности работы вакуум-насосной станции. При этом ожидаемого увеличения объема каптируемого метана не происходит, в то время как возрастают подсосы воздуха в трубопроводную сеть, приводя к увеличению ее сопротивления. Очевидно, что с уменьшением сопротивления трубопровода потери давления по длине снижаются, и для формирования достаточной величины разрежения в устье удаленной скважины, необходимой для отсоса расчетного количества метана, возможно использование меньшего числа вакуум-насосов.

С развитием трубопроводной сети подземных вакуумных газопроводов очень часто во время плановых контрольных замеров или вакуумно-газовой съемки обнаруживается полное отсутствие разрежения на удаленных скважинах.

Известно, что метановоздушная смесь, откачиваемая из угольных шахт является трехфазной, давление которой создается, в основном, молекулами метана и воздуха [2]. Это связано с тем, что при температуре смеси 10...28 °С парциальное давление водяного пара не превышает 3,78 кПа [2, 3].

Часть энергии, переносимой метановоздушной смесью вдоль газопровода, расходуется на преодоление гидравлических сопротивлений трубопроводной сети, преобразуясь в тепловую [3, 4]. В основном – это сопротивления по длине, так как подземный вакуумный газопровод относится, с гидравлической точки зрения, к длинным трубопроводам. Тепловая энергия рассеивается во внешнюю среду, но часть ее остается в газовоздушном потоке, изменяя внутреннюю энергию молекул движущейся смеси. Увеличение турбулентности движущейся смеси является одной из причин увеличения сопротивления и, как следствие, – потерь давления в вакуумном подземном дегазационном трубопроводе.

Абсолютное давление влажной метановоздушной смеси в конце участка p_2, определяется зависимостью [2]

$$p_2 = \sqrt{p_1^2 - \frac{4,5 \cdot 10^{-4} Q_m^2 R \lambda l T}{d^5}},$$

где p_1 и p_2 – абсолютное давление влажной метановоздушной смеси соответственно в начале и конце участка трубопровода, Па; Q_m – массовый расход метановоздушной смеси на участке, кг/мин; R – газовая постоянная метановоздушной смеси в начале участка; λ – коэффициент гидравлического трения, или коэффициент Дарси; l – длина участка, м; T – температура метановоздушной смеси, К; d – внутренний диаметр трубопровода на участке, м. Или

$$p_2 = f\left(p_1, Q_m, R, \lambda, T, l, d\right),$$

то есть к параметрам, оказывающим основное влияние на изменение величины абсолютного давления смеси, относятся следующие: массовый расход каптируемой метановоздушной смеси, коэффициент Дарси, газовая постоянная и температура смеси; а также конструктивные параметры дегазационной установки: длина участка трубопровода и его внутренний диаметр.

Учитывая то, что при движении смеси по участку трубопровода с происходящими подсосами воздуха изменяются такие параметры метановоздушной смеси как объемный расход и плотность, а коэффициент гидравлического трения учитывает влияние изменения температуры и гидравлического диаметра, то зависимость для определения величины разности давления на концах участка следующая

$$p_2 - p_1 = f\left(Q, \rho, R, \lambda, T, l, d\right).$$

При движении метановоздушной смеси по вакуумному газопроводу от дегазационных скважин до вакуум-насосной станции увеличение концентрации воздуха в смеси приводит к: возрастанию сил инерции, действующих в смеси; увеличению динамической вязкости, влияние которой на гидравлическое трение значимо непосредственно у стенок труб и снижается к середине сечения. Увеличение турбулентности является одной из основных причин роста гидравлического сопротивления вакуумного трубопровода, и, как следствие, возрастания потерь давления в дегазационной системе.

Для определения конструктивных параметров подземного вакуумного газопровода необходимо учитывать основные факторы, оказывающие влияние на величину потерь разрежения в дегазационной системе: длина трубопровода, диаметр и материал магистрального и участкового газопровода. Длина трубопроводной сети оказывает существенное влияние на падение разрежения создаваемого в дегазационной системе. Увеличение общей длины подземного трубопровода происходит за счет прокладки дополнительных участков магистральных и участковых трубопроводов при развитии горных работ, а также при применении параллельных трубопроводов для возможности каптирования большего объема добываемой метановоздушной смеси.

Таким образом, к основным причинам увеличения потерь давления на участках вакуумного подземного дегазационного трубопровода относятся: снижение концентрации метана во влажной метановоздушной смеси относительно расчетных значений из-за увеличения удельных подсосов воздуха в дегазационную систему, при этом влияние изменения состава смеси на потери давления тем больше, чем меньше внутренний диаметр вакуумного газопровода; увеличение турбулентности по мере продвижения смеси от дегазационных скважин до вакуум-насосной станции; образование скоплений капельной жидкости в пониженных местах, приводящих к уменьшению гидравли-

ческого сечения труб; скоплений пыли и продуктов коррозии на участках трубопровода с малой величиной скорости транспортирования смеси, а также – уменьшение пропускной способности дегазационной системы в связи с увеличением дебита метановоздушной смеси; из-за увеличения шероховатости стенок труб после их длительной эксплуатации коэффициент сопротивления увеличивается в 1,5...2,0 раза по сравнению с его величиной при использовании новых стальных труб. Последнее не относится к трубопроводам из композитных материалов.

Согласно «Инструкции по дегазации угольных шахт» подземные дегазационные газопроводы разрешено монтировать из стальных труб с толщиной стенок не менее 2,5 мм или из труб других материалов, допущенных к применению в подземных выработках для целей дегазации [1]. Из каких других материалов конкретно не оговаривается.

В настоящее время для монтажа подземных дегазационных вакуумных газопроводов используются стальные трубы и в некоторых случаях из композитных материалов, то есть стеклопластиковые. Применяя трубопроводы из композитных материалов можно значительно снизить сопротивление по длине подземного вакуумного газопровода.

Например (рис. 1), при одинаковых условиях эксплуатации для стальных труб полная потеря разрежения, как правило, происходит на длинном участковом газопроводе (кривая 1). Участок 1–5 – магистральный газопровод (внутренний диаметр трубы 300 мм), участок 5–10 – участковый газопровод (диаметр трубы – 150 мм). При замене всего стального дегазационного газопровода на трубопровод из композитных материалов можно

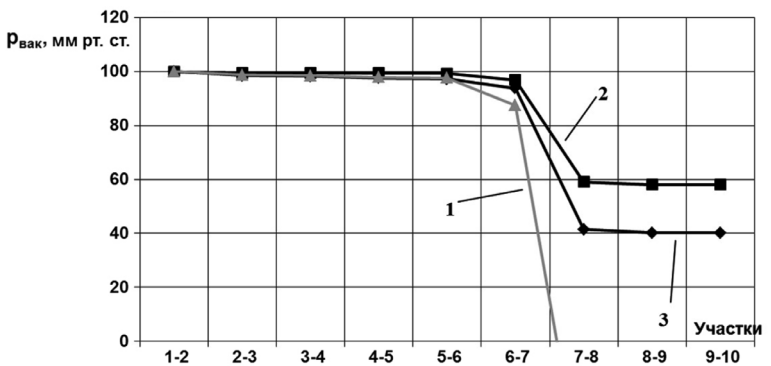

Рис. 1. График изменения значения разрежения по длине газопровода: 1 – стальная труба; 2 – стеклопластиковая труба; 3 – комбинированная труба

Конструктивные характеристики системы подземных дегазационных трубопроводов

Наименование параметра	Узлы				
	1–2	**2–3**	**3–4**	**4–5**	**5–6**
Диаметр (стальные трубы), мм	325×9	325×9	325×9	325×9	325×9
Диаметр (стеклопластиковые трубы-композитные), мм	315	315	315	315	315
Длина участка, м	253	40	140	60	70

Наименование параметра	Узлы			
	6–7	**7–8**	**8–9**	**9–10**
Диаметр (стальные трубы), мм	159×4,5	159×4,5	159×4,5	159×4,5
Диаметр (стеклопластиковые трубы-композитные), мм	154	154	154	154
Длина участка, м	1150	60	100	800

получить разрежение на скважине 60 мм рт ст. (кривая 2), но для действующих дегазационных сетей такой вариант не всегда является возможным как достаточно затратный. Замена стальных труб на трубы из композитных материалов на участковых газопроводах (кривая 3), которые по технологическому процессу дегазации перемонтируются каждые 0,5–2 года, позволит при тех же условиях эксплуатации и режимах работы вакуум-насосной станции получить разрежение на скважине 40 мм рт.ст. Кроме того, трубопроводы из композитных материалов кроме низкой шероховатости [5] имеют гораздо меньшую массу чем стальные, что также важно для выполнения их монтажа. В этих трубопроводах не образуются продукты коррозии. Конструктивные характеристики дегазационных трубопроводов приведены в таблице.

Положительное влияние на параметры (рис. 2), откачиваемой из дегазационных скважин, метановоздушной смеси также окажет замена стального участкового дегазационного трубопровода на трубопровод из композитных материалов. Так как в устье скважины разрежение составит 40 мм рт.ст., то газоотдача скважины повысится на 12–18%, а следовательно возрастет содержание метана в смеси уже доставленной на поверхность.

Анализ полученных результатов выявил, что в действующей газопроводной сети при переходе с магистрального диаметра труб на участковый разрежение падает до нуля не доходя до скважин, тем самым снижается эффективность дегазации. Значительный эффект показала характеристика стеклопластиковых труб, так как они имеют существенно меньшую шероховатость

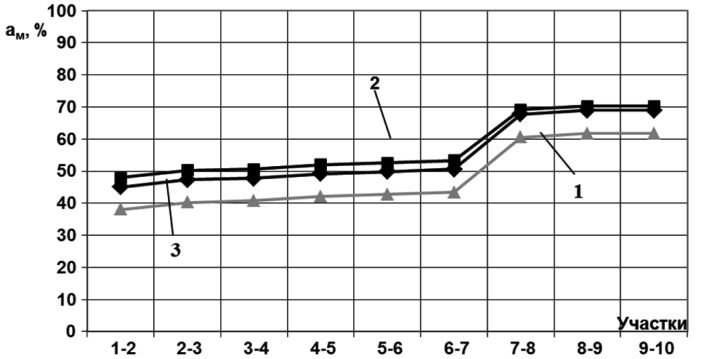

Рис. 2. График изменения содержания метана в метановоздушной смеси по длине газопровода: 1 – стальная труба; 2 – стеклопластиковая труба; 3 – комбинированная труба

чем стальные, с помощью этого фактора повысилось разрежение в самой удаленной от вакуум-насоса точке газопровода.

В существующих условиях эксплуатации существенный эффект достигается при замене стальных труб участкового газопровода на стеклопластиковые, разрежение на скважине достигает 40 мм.рт.ст. притом же диаметре участковых труб.

Необходимо также отметить, что применяя для подземных вакуумных дегазационных трубопроводов трубы из композитных материалов необходимо внести корректировку в методику расчета дегазационной сети угольной шахты. В «Инструкции по дегазации» [1] на этот счет, к сожалению нет никаких рекомендаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Инструкция* по дегазации угольных шахт. Серия 05. Выпуск 22. – М.: ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2012. – 250 с.

2. *Малашкина В. А.* Дегазационные установки: Учебное пособие. 2-е изд. – М.: Изд-во МГГУ, 2012 – 190 с.

3. *Ушаков К. З., Малашкина В. А.* Гидравлика. Учебник. – М.: изд-во МГГУ, изд-во «Горная книга», 2009. – 414 с.

4. *Кухлинг Х.* Справочник по физике: Пер. с нем. – М.: Мир, 1985. – 520 с.

5. *Малашкина В. А.* Исследование факторов, влияющих на качество метановоздушной смеси, подаваемой от скважин на поверхность угольной шахты по газопроводу из композитного материала // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 8. – С. 234–242. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Малашкина Валентина Александровна – доктор технических наук, профессор, НИТУ «МИСиС», e-mail: ud@msmu.ru.

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2017. No. 2, pp. 136–143.

UDC 622.81.47

V.A. Malashkina

FEATURES OF PRESSURE MEASUREMENT IN UNDERGROUND GAS DRAINAGE PIPELINE INSTALLATION MADE OF COMPOSITE MATERIALS

Currently particularly relevant is the task of ensuring security of work of miners and non-stop technological process of coal mining by maintaining the values of methane content in the atmosphere of underground workings of coal mines within the established norms.

With increasing depth of coal mining increases methane release in coal mine workings and goaf. The majority of the mines, developing methane content coal seams, ventilation does not provide the permissible limits of concentration of methane in the atmosphere of mine workings. Therefore, in such circumstances requires a high efficiency of the degasification systems.

One of the factors that affect the efficiency and performance of the degassing units of coal mines, is to provide the necessary dilution in the estuary each degasification wells. The increase in the extent of functioning of a pipeline network, according to the technological process of degassing, entails the increase of losses of underpressure generated by the vacuum pumps.

In most cases, the pressure difference between the vacuum-pump station and near the mouth of the remote wells exceeds the allowable design value, and to create at the well necessary dilution, introducing a greater number of vacuum pumps. This entails increasing the amount of electricity consumed and the reduction efficiency of the vacuum pump station. The expected increase in the volume of captured methane does not occur, while increasing the leak of air into the pipe network, resulting in an increase of its resistance. It is obvious that with the decrease of the resistance of the pipeline pressure losses along the length of the fall, and for the formation of the magnitude of the dilution in the estuary of the remote wells required to exhaust the estimated amount of methane, perhaps using a smaller number of vacuum pumps not occur, while increasing the leak of air into the pipe network, resulting in an increase of its resistance. It is obvious that with the decrease of the resistance of the pipeline pressure losses along the length of the fall, and for the formation of the magnitude of the dilution in the estuary of the remote wells required to exhaust the estimated amount of methane, perhaps using a smaller number of vacuum pumps.

Key words: degassing, condensation, hydraulic co-resisting, underground vacuum gas pipeline, methane-air mixture, Darcy coefficient, fiberglass pipeline.

AUTHOR

Malashkina V.A., Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: ud@msmu.ru,
National University of Science and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia.

REFERENCES

1. *Instruktsiya po degazatsii ugol'nykh shakht*. Seriya 05. Vypusk 22 (Instructions for the degassing of coal mines. Series 05. Issue 22), Moscow, ZAO «Nauchno-tekhnicheskiy tsentr issledovaniy problem promyshlennoy bezopasnosti», 2012, 250 p.

2. Malashkina V.A. Degazatsionnye ustanovki: Uchebnoe posobie. 2-e izd (Degassing unit, Educational aid, 2nd edition), Moscow, Izd-vo MGGU, 2012, 190 p.

3. Ushakov K.Z., Malashkina V.A. Gidravlika. Uchebnik (Hydraulics. Textbook), Moscow, izd-vo MGGU, izd-vo «Gornaya kniga», 2009, 414 p.

4. Kukhling Kh. Spravochnik po fizike: Per. s nem (Handbook of physics, German–Russian translation), Moscow, Mir, 1985, 520 p.

5. Malashkina V.A. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015, no 8, pp. 234–242.