

ных шахт // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць / Ін-т геотехнічної механіки НАН України. – Дніпропетровськ. – 2002. – Вип. 40. – С.181-186.

3. Мартиненко С.В. Аналіз конструкцій і роботи вузлів піддатливості кріплення та шляхи їх удосконалення // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ. – Кременчук: КДПУ, 2003. – Вип.4(21). – С.150-152.

4. Шашенко А.Н., Сургай Н.С., Парчевский Л.Я. Методы теории вероятностей в геомеханике. – К.: Техніка, 1994. – 216 с.

5. Шашенко А.Н., Тулуб С.Б., Сдвижкова Е.А. Некоторые задачи статистической геомеханики. – К.: Пульсари, 2002. – 302 с.

6. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Физматгиз. – 1969. – 572 с.

7. Булычев Н.С., Амосин Б.З., Оловянный А.Г. Расчет крепи капитальных горных выработок. – М.: Недра, 1974. – 256 с.

8. Баклашов И.В., Тимофеев О.В. Конструкции и расчет крепей и обделок. – М.: Недра, 1979. – 313 с.

9. Руппнейт К.В. Некоторые вопросы механики горных пород. – М.: Углетехиздат, 1954. – 384 с.

10. Попов В.Л., Каретников В.Н., Еганов В.М. Расчет крепи подготовительных выработок на ЭВМ. – М.: Недра, 1978. – 230 с.

11. Руппнейт К.В., Драновский А.Н., Лыткин А.В. Расчет сборной кольцевой крепи подземных сооружений. – М.: Недра, 1969. – 150 с.

12. Рачинский В.М. Расчет статически неопределимых систем. – М.: Ин-т нефтехим. и газ. пром-ти, 1959. – 28 с.

УДК 622.831.325.3

Л.А. Новиков, Т.В. Бунько,
И.Е. Кокоулин, Б.В. Бокий

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ДЕГАЗАЦИОННЫХ СИСТЕМ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Розглянуто процес утворення водяної пробки на ділянці трубопроводу, а також питання підвищення ефективності функціонування дегазацийних систем вугільних шахт, за рахунок використання прогресивних автоматизованих систем

INCREASE EFFECTIVE OF COAL MINES DEGASATION SYSTEMS

The process formation of a water fuse on a site pipeline, and also question improvement of functioning of coal mines degasation systems is considered, at the expense of use progressive automated systems

При разработке угольных пластов на больших глубинах в условиях высокой метанообильности разрабатываемых пластов первоочередной задачей является обеспечение безопасных условий труда обслуживающего персонала. Вероятность возникновения ситуаций, опасных по газовому фактору, зависит от эффективности работы вентиляционной и дегазационной систем.

Эффективность работы дегазационной системы (ДС) зависит от степени ее соответствия показателям, предусматриваемым на стадии проектирования, и нормативным показателям. В настоящее время на многих шахтах угольной отрасли ДС имеют низкие показатели эффективности функционирования, в связи с чем возникает необходимость в их усовершенствовании и реконструкции. При этом необходимо учитывать взаимодействие основных элементов ДС между собой и с внешней средой, а также изменение с течением времени топологии

газопроводной сети по мере ведения горных работ.

При реконструкции ДС происходит коренная перестройка ее структуры, что связано с большими материальными затратами и трудоемкостью проводимых работ. Поэтому необходимо рассматривать варианты улучшения режимов работы действующей ДС за счет усовершенствования ее основных элементов. В частности, это относится к участковым и магистральным дегазационным трубопроводам, расходные характеристики которых должны соответствовать нормативным и зависят от их герметичности, а также от их состояния по пропускной способности. Нарушение герметичности фланцевых соединений труб и уменьшение проходного сечения трубопровода (образование вмятин) может происходить в результате конвергенции горных пород, а также при воздействии технических средств. Кроме того, уменьшение проходного сечения может быть связано с загрязненностью трубопровода, которая проявляется наличием распределенных и местных твердых отложений, а также скоплений воды. Распределенные твердые отложения представляют собой продукты коррозии внутренней поверхности трубопровода, а местные отложения - скопления пыли и шлама в местах изменения скорости потока метано-воздушной смеси (МВС). К ним относятся колена, арматура, места расположения измерительных диафрагм, водоотделителей, регулировочных задвижек. Скопления воды образуются в пониженных местах трубопровода, в местах сопряжений горизонтальных участков трубопровода с наклонными и вертикальными участками, а также в вертикальных и наклонных участках, характеризующихся высокой скоростью движения потока МВС в вертикальном направлении.

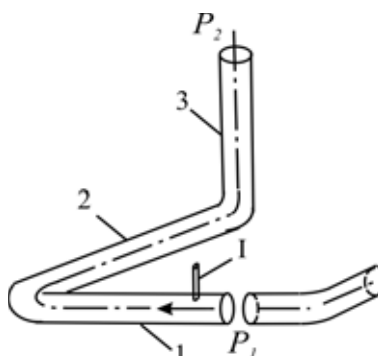
Степень загрязненности трубопроводов различна и зависит от геометрических параметров и взаиморасположения их участков, интенсивности поступления пыли, шлама и воды из дегазационных скважин, а также от их количества. Скопления пыли и шлама в трубопроводах приводят к уменьшению их проходных сечений (до 30 %). Скопления воды могут приводить к падению создаваемой вакуум-насосами депрессии до 50% [1]. При этом могут возникать условия, при которых образуются водяная "пробка", которая в течение некоторого времени полностью перекрывает проходное сечение трубопровода. При этом заметно изменяются газодинамические параметры МВС.

Рассмотрим схему дегазационного трубопровода постоянного диаметра, изображенную на рис. 1.

Будем рассматривать процесс движения МВС на горизонтальных участках трубопровода 1, 2 и вертикальном участке 3. В начале 1-го участка расположена дегазационная скважина I. Движение МВС в трубопроводе происходит за счет разности давлений $\Delta P = P_1 - P_2$ ($P_1 > P_2$), создаваемой вакуум-насосами. В местах уменьшения скорости движения потока МВС (сопряжения участков 1 и 2, 2 и 3) создаются наиболее благоприятные условия для образования скоплений воды в виде "пробок". Это особенно характерно для сопряжения участков 2 и 3.

Мелкие частицы воды, поступающей в трубопровод из дегазационной скважины I, захватываются и переносятся потоком МВС. В результате на внутренней поверхности трубопровода возникает водяная пленка и капли воды, кото-

рые стекают под действием силы тяжести на дно горизонтального участка 2 и образуют локальные скопления воды.



1, 2, 3 – участки трубопровода; I – дегазационная скважина; ← - направление движения МВС; P_1 и P_2 – давления МВС соответственно в начальном и конечном сечениях.

Рис. 1 – Схема дегазационного трубопровода.

В месте сопряжения участков 2 и 3 значение скорости МВС $V_{мвс}$ уменьшается, что приводит к уменьшению величины кинетической энергии потока МВС. В связи с этим более крупные частицы влаги будут выпадать из потока, оседая на дне участка 2 перед сопряжением.

По мере роста толщины слоя воды они все более будут подвержены динамическому воздействию потока МВС, что вызывается ростом продольной скорости движения газа от стенок трубопровода к его оси. Поток МВС при этом способствует слиянию скоплений воды между собой. Под действием силы тяжести крупные капли воды на поверхности участке 3 будут двигаться вниз в сторону сопряжения.

В итоге, в конечном сечении участка 2 возникает "пробка", которая под действием динамического давления потока МВС начинает двигаться по трубопроводу вплоть до момента своего разрушения. При увеличении значения $V_{мвс}$ процесс разрушения "пробки" потоком МВС будет происходить более быстро и интенсивно. При определенном значении $V_{мвс}$ образование "пробки" в месте сопряжения происходить не будет, однако может начаться ее образование на вертикальном участке 3.

Согласно [2], приближенное выражение для потерь давления МВС с частицами влаги на участках 1 и 2 будет иметь вид

$$\Delta P_{эжi} = \Delta P_i \cdot \left[1 + K \cdot \mu_{мвс} \cdot \mu_{во}^{-1} \right], \quad (1)$$

где $\Delta p_i = p_{ki} - p_{ni}$ – потери давления МВС без влаги на i -м участке трубопровода ($i = 1 \div 2$), Па; p_{ni} и p_{ki} – давление в начальном и конечном сечениях i -го участка трубопровода, Па; K – коэффициент выбираемый согласно [3]; $\mu_{во}$ – молекулярная масса воды; $\mu_{мвс}$ – молекулярная масса МВС; τ_i – касательное напряжение на внутренней поверхности i -го участка трубопровода, Па.

Для потерь давления МВС в месте поворота трубопровода $\Delta p_{повi}$ можно за-

писать

$$\Delta p_{novi} = \frac{\Delta P_{эжi}}{\Delta P_i} \cdot \rho_{мвсi} \cdot V_{novi}^2 \cdot \left[1000 \cdot \lambda_{novi}^{2,5} + 0,106 \cdot r_{novi}^{-1} \right] \cdot \frac{\alpha_i}{90^\circ}, \quad (2)$$

где λ_{novi} – коэффициент сопротивления трению потока МВС на i -м участке трубопровода в месте его поворота; α_i – угол поворота i -го участка трубопровода, град; r_{novi} – радиус i -го участка трубопровода в месте его поворота, м; $\rho_{мвсi}$ – плотность МВС, кг/м³; V_{novi} – скорость потока МВС в месте поворота i -го участка трубопровода, м/с.

При переходных режимах в трубопроводах, которые могут иметь место в случае присутствия скоплений воды, коэффициент сопротивления i – го участка трубопровода можно определить по формуле Шевелева [4]

$$\lambda_i = \left(\frac{8,44 \cdot 10^{-7}}{D_i} + \frac{1}{Re_i} \right)^{0,3}$$

Число Рейнольдса на i -том участке трубопровода определяется как

$$Re_i = 0,5 \cdot V_{мвсi} \cdot D_i \cdot \mu_{мвс}^{-1},$$

где $\mu_{мвсi}$ – динамическая вязкость МВС на i -том участке трубопровода, Па·с.

Значения коэффициента сопротивления λ_{novi} при турбулентном режиме движения МВС определяется из выражения

$$\lambda_{novi} = \lambda_i + 0,075 \lambda_i \cdot Re_i^{0,25} \cdot \left(\frac{D_i}{2 \cdot r_{novi}} \right)^{0,5},$$

где λ_i – коэффициент сопротивления i -го участка трубопровода; D_i – диаметр i -го участка трубопровода, м.

Выражение для потерь давления на i - том участке трубопровода в месте скопления воды [5] будет представлять собой зависимость вида

$$\Delta P_{скi} = F(\rho_{мвсi}, V_{мвсi}^*, \varepsilon_i), \quad (3)$$

где ε_i – коэффициент сжатия потока МВС; $v_{мвсi}^* = V_{мвсi} \cdot f_{скi}^{-1} \cdot f_i$ – скорость МВС на i - том участке трубопровода в месте скопления воды, м/с; f_i и $f_{скi}$ – площади поперечных сечений i - го участка трубопровода перед скоплением воды и в месте скопления, м².

Тогда с учетом выражений (1), (2), (3) давление в конечном сечении 3-го участка трубопровода будет определяться как

$$P_2 = P_1 - \sum_{i=1}^2 \Delta P_{\text{нові}} - \sum_{i=1}^3 \Delta P_{\text{змі}} - \Delta P_{\text{ск2}}$$

В случае низкой эффективности работы ДС или малой концентрации метана в МВС проводится оценка состояния участков трубопроводов по пропускной способности и выявление нарушений герметичности фланцевых соединений труб. Для этого согласно [1] проводят газовые съемки участков газопроводной сети, зондирование дегазационных скважин и осуществляют замеры значений фактических подсосов воздуха. При этом желательно использовать современные высокочувствительные приборы.

В ИГТМ НАН Украины разработан анемометр АПР-2, который может быть использован (с учетом использования аэродинамического преобразователя разности давлений ПРД-1 [6]) для измерения величины разряжения и скорости МВС в дегазационных трубопроводах.

Интерес представляют собой газоанализаторы метана, созданные на основе волоконной оптики [7]. Эти устройства отличаются высокой точностью, искробезопасностью, помехозащищенностью, широким диапазоном измерений и существуют в портативном и стационарном исполнении. Кроме того, они могут быть объединены с системами сбора информации и пожарной сигнализации.

Для предотвращения загрязнения трубопроводов, периодически должны проводиться мероприятия по очистке запорной арматуры, измерительных диафрагм, колен, тройников и расширений от твердых отложений, а также удаление скоплений воды [1]. МВС, поступающая из дегазационных скважин в трубопроводы, должна подвергаться очистке от воды, пыли, шлама. При этом, предпочтительно использовать эффективные конструкции водо- и пылеотделителей, а также устройства позволяющие осуществлять комбинированную очистку МВС. Значительный интерес представляет собой конструкция автоматического устройства для автоматического отвода воды из дегазационного трубопровода [8], а также установка для отвода конденсата [9]. В настоящее время существуют высокоэффективные конструкции газовых сепараторов, которые могут устанавливаться в дегазационных скважинах, и предназначены для отделения газа от газо-жидкостной смеси [10].

Средства контроля и автоматизации должны решать задачи, связанные с автоматизацией вакуум-насосных станции (ВНС), непрерывным контролем за МВС при ее выходе из ДС, повышением эффективности работы ДС в целом. При работе средств контроля и автоматизации особо важным моментом является передача достоверной информации о параметрах МВС в дегазационных трубопроводах и дегазационных скважинах с последующей ее обработкой на ПЭВМ. После обработки полученной информации принимается решение о выборе оптимальных режимов работы отдельных звеньев ДС. Это обеспечивается путем полного или частичного перекрытия отдельных скважин или участков газопроводной сети, работы ВНС в рациональном режиме, автоматического удаления из трубопроводов водяных пробок. При этом средства автоматизации и контроля шахтных ДС должны соответствовать общим требованиям, предъ-

являемым к шахтной автоматике. В связи с эти целесообразно использовать рассмотренные выше волоконно-оптические датчики и оптоволоконную связь для получения и передачи достоверной информации о состоянии ДС.

В 80-х годах рассматривались вопросы создания и использования автоматизированных систем контроля и управления дегазацией. Так в работе [11] рассматривался вопрос использования автоматической информационной системы контроля параметров шахтных дегазационных установок (ДИСК). В качестве технических средств, входящих в систему рассматривались элементы аппаратуры отбора, передачи и приема информации, а также различные дополнительные и вспомогательные устройства: автоматический водоотводчик, регуляторы вакуума в трубопроводе, переносные приборы трех параметров МВС, средства метрологического обеспечения системы.

По мере совершенствования средств контроля и автоматизации, развития компьютерной техники, возникновения высокоэффективных операционных систем, трансляторов с алгоритмических языков, систем программирования и т.д. возникла возможность использования современных автоматизированных систем (АС) в различных сферах деятельности. В качестве такой системы хотелось бы отметить разрабатываемую в ИГТМ НАН Украины информационную технологию проектирования, анализа и расчета ДС (ИТ ПАРДС). Система предназначена для расчета и анализа параметров МВС на участках газопроводной сети, выбора оптимальных режимов работы ДС, повышения качества инженерных решений, повышения безопасности ведения горных работ, снижения трудоемкости расчетов и облегчения контроля за их точностью. ИТ ПАРДС включает в себя: графическую подсистему, осуществляющую введение и корректировку графической информации о топологии и структуре газопроводной сети с визуализацией результатов расчетов; информационную подсистему, осуществляющую сохранение, поиск, упорядочивание, архивацию и выдачу текущей информации, которая используется при проектировании и усовершенствовании ДС; подсистему структурно-параметрического анализа, осуществляющую оперативный контроль текущего состояния действующей ДС; подсистему инженерных расчетов, осуществляющую расчеты, связанные с определением параметров МВС и оптимальных режимов работы ДС; подсистему документирования, осуществляющую анализ результатов расчета и формирование на его основе документации характеризующей состояние проектируемой или усовершенствованной ДС.

В результате проведенных исследований могут быть сделаны следующие выводы:

- при расчете значений давления в конечном сечении трубопровода необходимо учитывать значения $\Delta P_{ски}$, $\Delta P_{эжс}$, $\Delta P_{нови}$ на его i -тых участках;
- учитывая, что ИТ ПАРДС является модульной, возникает возможность замены ее отдельных элементов на более прогрессивные без существенной перестройки ее программных средств;
- эффективность работы шахтных ДС зависит от эффективности используемых АС контроля и управления, их надежности, поведения и характера взаимо-

действия между собой при неблагоприятных условиях эксплуатации. В частности это касается случаев высокой обводненности дегазационных трубопроводов;

- АС контроля и управления должны соответствовать требованиям, изложенным в ГОСТ 34.201-89.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по дегазации угольных шахт. - Киев, 2003.
2. Иванов О. П., Мамченко В. О. Аэродинамика и вентиляторы. – Л. : Машиностроение, Ленингр.отд-ние, 1986. – с.67-77.
3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Справочник проектировщика/ Под ред И. Г. Староверова. М.: Стройиздат, 1978. 509с.
4. А.М. Морев., И.И. Евсеев. Дегазация сближенных пластов. М. "Недра", 1975, С.141-142.
5. Л.А. Новиков, Б.В. Бокий. Математическая модель движения метано-воздушной смеси на участке дегазационного трубопровода. // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / Ин-т геотех. мех. НАН Украины им. Н.С. Полякова. – Днепропетровск, 2003. – Вып. 47. – С. 311-312.
6. А.Ф. Булат, И.Е. Кокоулин, Т.В. Бунько. Продолжение и развитие идей Ф.А. Абрамова в отделе проблем разработки месторождений на больших глубинах ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины. // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / Ин-т геотех. мех. НАН Украины им. Н.С. Полякова. – Днепропетровск, 2004. – Вып. 48. – С. 46-49.
7. В.Ш. Берикашвили., М.В. Хиврин. Волоконно-оптические системы контроля атмосферы угольных шахт. – М. : Радиотехника. – 2001. – №5.– С.21-27.
8. А.с. 909226. СССР, МКИ Е 21 F 17/00. Устройство для автоматического отвода воды из дегазационного трубопровода / М.Н. Долгополов, И.М. Местер, В.Н. Шатохин (СССР). - № 2951738/22-03; Заявл. 03.07.80; Оpubл. 28.02.82; Бюл. №8.-1982.
9. Пат. 2177106. РФ, МПК⁷ F 16 Т 1/20. Установка для отвода конденсата / В.П. Кульбякин, Г.С.Горячев, Т.А. Исакова (РФ) - № 2000105095/06; Оpubл. 01.03.00, Бюл. № 35. – 2001.- С. 238.
10. Пат. 219365. РФ, МПК⁷ Е 21 В 43/38. Газовый сепаратор и способ его эксплуатации / ЛОПЕС Дивонсир (BR), В.Н. Деменьтьев (РФ). - № 2000131570/03; Заявлено 20.12.99; Оpubл. 18.12.00; Бюл. №33. – 2002. – С. 285-286.
11. Карпов Е.Ф., Рязанов А.В. Автоматизация и контроль дегазационных систем. М., Недра, 1983. - С.125-135.