

ОСОБЕННОСТИ ДВИЖЕНИЯ МЕТАНОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ В ДЕГАЗАЦИОННОМ ТРУБОПРОВОДЕ

Розглянуто ізотермічне та неізотермічне турбулентний рух метаноповітряної суміші в дільничному дегазаційному трубопроводі.

FEATURES OF MOTION METHANE-AIR MIXTURE IN THE DEGASSING PIPELINE

Isothermal and non isothermal considered the motion methane-air mixture in the decontamination line.

Увеличения глубины разработки угольных месторождений сопровождается соответствующим возрастанием концентрации метана и вероятности возникновения взрывоопасных ситуаций. На глубинах от 900 до 1500 м использование средств вентиляции становится недостаточным для ликвидации опасных скоплениями метана, что обуславливает использование дегазации угольных пластов и выработанных пространств.

Эффективность работы дегазационной системы зависит от сложности газопроводной сети, мощности вакуум-насосов, числа подсоединенных к трубопроводу дегазационных скважин, величины расхода газа и влаги из дегазационных скважин, а также технического состояния трубопровода.

При математическом моделировании движения газа в участковых дегазационных трубопроводах [1, 2] учитывается влияние подсосов воздуха и загрязненности трубопроводов на их расходные характеристики и гидравлическое сопротивление. Несмотря на это полученные результаты не всегда отражает реальную картину протекания газодинамических процессов в газопроводной сети, что связано с ее топологическими особенностями, а также влиянием внутренних и внешних факторов на характер изменения газодинамических параметров метановоздушной смеси (МВС).

К основным внутренним факторам относятся:

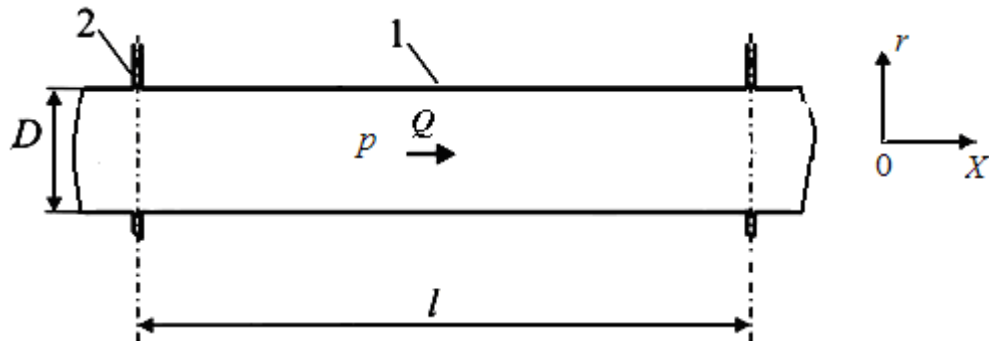
- местные и распределенные отложения;
- приточки воздуха в газопроводную сеть;
- влажность МВС и объемную концентрацию пыли в газовом потоке;
- межфазные взаимодействия и конвективный теплообмен.

В качестве внешних факторов можно рассматривать температуру и давление воздуха в выработке.

Горно-геологические и горнотехнические условия на каждой из шахт носят сугубо индивидуальный характер. В связи с этим большое значение имеет разработка комплекса мероприятий, способствующих повышению эффективности работы систем дегазации.

Выявление законов изменения основных технологических параметров транспортировки МВС в условиях неустановившегося движения является важным предметом исследований и имеет большое значение при проектирования, эксплуатации и реконструкции вакуумных трубопроводов.

Рассмотрим движение газа по длине элемента горизонтального участкового трубопровода (рис. 1)



X, r – продольная и радиальная координаты, м; 1 – участковый трубопровод; 2 – фланцевые соединения труб; l – длина элемента трубопровода, м; D – гидравлический диаметр трубопровода, м; Q – средний расход МВС, м³/с; p – средняя величина абсолютного давления МВС, Па

Рис. 1 – Элемент горизонтального участкового трубопровода.

Пренебрегая теплообменом МВС со стенками трубопровода, будем рассматривать изотермическое движение МВС. Тогда с учетом инерции потока, уравнения изотермического движения газа в рассматриваемом элементе (рис. 1) будут иметь вид [3, 4]:

$$C_p \frac{\partial Q}{\partial T} + \frac{\partial p^2}{\partial x} = -A Q^2; \quad (1)$$

$$\frac{\partial p}{\partial T} + B \frac{\partial Q}{\partial x} = 0, \quad (2)$$

где $x = 0 \div l$ – текущее расстояние, отсчитываемое от начального сечения элемента трубопровода вдоль его оси, м; l – длина элемента трубопровода, м; T – средняя температура МВС, К; A, B, C – коэффициенты, зависящие от параметров трубопровода, определяемые как:

$$A = \frac{16\lambda T l}{\pi^2 D^5 g R} \left(\frac{P_0}{T_0} \right)^2; \quad (3)$$

$$B = \frac{4T}{\pi D^2 l} \frac{P_0}{T_0}; \quad (4)$$

$$C = \frac{8l}{\pi D^2 g R} \frac{P_0}{T_0}, \quad (5)$$

где λ – коэффициент сопротивления трения; g – ускорение свободного падения, м/с²; R – газовая постоянная МВС, Дж/(кг·К); P_0 – давление МВС, приведенное к нормальным условиям, Па; T_0 – температура МВС, приведенная к нормальным условиям, К;

В реальных условиях имеет место теплообмен МВС со стенками трубопровода, а движение газа является неизотермическим. В связи с этим средняя температура движущейся среды представляет собой функциональную зависимость $T = f(x)$.

Применительно к центральной части неизотермического турбулентного потока в элементе горизонтального участкового трубопровода описывается системой дифференциальных уравнений [5]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \rho u}{\partial x} = 0; \\ \frac{2}{0,25D^2} \int_0^{0,5D} \rho u \frac{\partial u}{\partial x} r dr + \frac{\partial p}{\partial x} - \rho F_x = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} r \tau_{rx} ; \\ \rho c_v u \frac{\partial T}{\partial x} = \tau_{rx} \frac{\partial u}{\partial r} - p \frac{\partial u}{\partial x} + \sigma_T x - \rho u \left(\frac{p}{\rho^2} - \frac{T}{\rho^2} \frac{\partial p}{\partial T} \right) \frac{\partial \rho}{\partial x}; \\ p = f(\rho, T), \end{array} \right. \quad (6)$$

где u – скорость газа в данной точке потока, м/с; ρ – средняя плотность МВС, кг/м³; $r = 0 \div 0,5D$ – текущий радиус трубопровода, м; F_x – проекция вектора результирующей массовых сил на ось OX , Н/кг; σ_T , τ_{rx} – нормальное и касательное напряжение, Па.

Граничные условия (исключая пограничный слой) имеют вид:

$$u(r, x) = u_{st}(r, x); \quad (7)$$

$$\rho(x)|_{x=0} = \rho_{st}; \quad (8)$$

$$T(x)|_{x=0} = T_{st}, \quad (9)$$

где $u_{st}(r, x)$ – скорость МВС вблизи стенки, м/с; ρ_{st} – плотность МВС вблизи стенки, кг/м³; T_{st} – температура МВС вблизи стенки, К.

Как известно при транспортировке природного газа могут возникнуть условия для образования газовых гидратов [6, 7]. Эти образования представляют собой кристаллические соединения воды и газа, уменьшающие проходное сечение трубопровода.

Образование и рост газовых гидратов определяется условиями конденсации влаги, а также теплообменом между движущимся газом и гидратом.

При математическом моделировании образования гидратов при движении газового потока в трубопроводах используются дифференциальные уравнения

неизотермического движения газа; уравнение термодинамического равновесия газ-гидрат; соотношения, характеризующие изменение влажности природного газа от давления и температуры и т.д.

Возникновение гидратных пробок приводит к увеличению потерь давления в трубопроводе и соответственно падению давления на выходе из него.

При образовании твердых скоплений в прогибе дегазационного става их ширину и длину можно определить по формулам [8]:

$$b = 2\sqrt{\frac{D^2}{4} - \left(\frac{D}{2} - h\right)^2}; \quad (10)$$

$$L = 2\sqrt{\delta + 0,5D^2 - \delta + 0,5D - h^2}, \quad (11)$$

где h – максимальная толщина скопления, м; δ – радиус кривизны оси трубопровода в месте прогиба, м

При исследовании турбулентных течений газовзвеси в каналах и трубах используют феноменологические и статистические модели, учитывающие межфазные взаимодействия и позволяющие определять поля скоростей и концентраций каждой из фаз. Практические результаты по исследованию турбулентных течений многофазных сред получены с использованием модели Х.А. Рахматулина [9], которая основана на идее взаимопроникающих континуумов. этой модели несущей фазой является газ, а дисперсной – твердые частицы.

Применительно к дегазационному трубопроводу, где наблюдается перенос частиц пыли, а газовый поток представляет собой влажную МВС, для определения влияния взвешенных компонентов на расходные характеристики участковых трубопроводов необходимо располагать информацией о концентрации и размерах частиц пыли, а также влажности МВС.

Размер частиц пыли в газовом потоке при их плотности $\rho_s = 2650 \text{ кг/м}^3$ может колебаться от 1 до 10 мкм. При этом влияние силы тяжести на величину концентрации этих частиц в сечениях канала будет не существенным. В случае если в газовом потоке будут присутствовать взвешенные частицы меньшей плотности, то указанный диапазон диаметров частиц будет смещен в большую сторону.

Для приближенной оценки максимального диаметра взвешенных в потоке МВС частиц пыли можно воспользоваться неравенством [9]

$$\frac{d_{\max}}{D_h} \sqrt{\left| \frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right|} \cdot \sqrt{\text{Re}} \leq 0,2. \quad (12)$$

При исследовании распределения концентраций взвешенных частиц пыли на участках газопроводной сети необходимо учитывать скорость, давление, направление движения потока, плотность частиц, влажность газа.

Система уравнений, описывающих движение двухфазной сплошной среды, в случае локально однородной и изотропной турбулентности имеет вид [9]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \rho_m}{\partial t} + \operatorname{div} \rho_m u_{mc} = 0; \\ \frac{\partial u_{mc}}{\partial t} + u_{mc} \nabla u_{mc} = \frac{1}{\rho_m} F_{mc} - \frac{1}{\rho_m} \operatorname{grad} P_m + \\ K_m \Delta u_{mc} + \frac{K_m}{3} \operatorname{grad} \operatorname{div} u_{mc} ; \\ \frac{\partial c_i}{\partial t} = \operatorname{div} D_i \operatorname{grad} c_i - c_i u_{ic} - B_i c_i F_{ic} ; \\ \frac{\partial \bar{u}_{ic}}{\partial t} + u_{ic} \nabla u_{ic} = \frac{1}{\rho_i} F_{ic} - \frac{1}{\rho_i} \operatorname{grad} P_i + \\ K_i \Delta u_{ic} + \frac{K_i}{3} \operatorname{grad} \operatorname{div} u_{ic} , \end{array} \right. \quad (13)$$

где t – время, с; u_{ic} , u_{mc} – векторы средних скоростей соответственно частиц i – й компоненты твердой фазы и турбулентных вихрей несущей среды в данной точке потока, м/с; F_{ic} , F_{mc} – массовые силы, действующие соответственно на частицы i – й компоненты твердой фазы и турбулентные вихри несущей среды, Н/кг; P_i , P_m – средние статические давления соответственно частиц i – й компоненты твердой фазы и турбулентных вихрей несущей среды в данной точке потока, Н/м²; ρ_i , ρ_m – средние плотности соответственно частиц i – й компоненты твердой фазы и турбулентных вихрей несущей среды, кг/м³; c_i – объемная концентрация частиц i – й компоненты твердой фазы, д.е; D_i – коэффициент турбулентной диффузии частиц i – й компоненты твердой фазы, м²/с; B_i – коэффициент подвижности частиц i – й компоненты твердой фазы, кг/с; K_i , K_m – коэффициенты макровязкости соответственно частиц i – й компоненты твердой фазы и турбулентных вихрей несущей среды, м²/с; ∇ – символический векторный оператор; Δ – оператор Лапласа.

Система уравнений (13) описывает турбулентное движение двухфазной среды, в которой в качестве несущей фазы выступает вязкая жидкость. Однако она может быть преобразована для случая турбулентного движения газа с частицами пыли.

На основании вышесказанного можно сделать следующие выводы:

- для определения влияния взвешенных компонентов на расходные характеристики участковых трубопроводов необходимо располагать информацией о концентрации частиц пыли, их фракционном составе, а также о величине влажности МВС;

- при моделировании движения влажной МВС с частицами пыли в дегазационном трубопроводе необходимо использовать уравнения динамики многофаз-

ных сред.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левченко Е.М. Физическая модель дегазационного участкового трубопровода / Е.М. Левченко // Внезапные выбросы угля и газа, рудничная аэрология. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1988. – С.127-133.
2. Кременчуцкий Н.Ф. Расчет распределения метановоздушной смеси в сети дегазационной системы / Н.Ф. Кременчуцкий, И.И. Пугач // Науковий вісник НГА України. – 2002. – № 5. – С. 86-88.
3. Аствацатурьян Р.Е. Моделирование движения газа в газопроводах с учетом сил энергии потока / Р.Е. Аствацатурьян, Е.В. Кочарян // Нефтегазовое дело. – № 1. – С. 1-8.
4. Кузнецов Е.В. Методы сокращения потерь светлых нефтепродуктов при проведении технологических операций на нефтебазах / Е.В. Кузнецов // ГИАБ. – 2008. – №2. – С. 316-322.
5. Скробач А.В. Математическая модель развитого турбулентного стационарного неизотермического движения газа в трубопроводе круглого сечения / А.В. Скробач // Инженерная физика. – 2005. – № 4. – С. 47-52.
6. Газовые гидраты / С.Ш. Бык, Ю.Ф. Макагон, В.И. Фомина. – М.: Химия, 1980. – 296 с.
7. Истомин В.А. Газовые гидраты в природных условиях / В.А. Истомин, В.С. Якушев. – М.: Недра, 1992. – 236 с.
8. Новиков Л.А. Определение потерь давления на загрязненных участках вакуумного дегазационного трубопровода / Л.А. Новиков // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / Ин-т геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2011. – Вып. 92. – С. 258-263.
9. Новиков Л.А. Математическая модель движения турбулентного потока газозвеси в дегазационном трубопроводе / Л.А. Новиков // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / Ин-т геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2008. – Вып. 76. – С. 126-131.

УДК 622.33.002.68:552.513.08

Кандидати геол.-мінерал. наук К.А. Безручко,
Л.Л. Шкуро
(ІГТМ НАН України)

ФОРМУВАННЯ КОЛЕКТОРСЬКИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПІСКОВИКІВ ПІД ВПЛИВОМ ТЕХНОГЕННОГО ЧИННИКА

Исследовано влияние горных работ в процессе добычи угля на физические свойства песчаников, путём сравнения объёмной плотности, плотности твёрдой фазы и открытой пористости по результатам опробования керна геологоразведочных скважин и горных выработок. Установлено, что объёмная плотность и коэффициент открытой пористости песчаников, в зоне влияния горных работ существенно отличаются от соответствующих показателей в нетронутом массиве. Показано, что такое разуплотнение, за счёт трещинообразования, способствует увеличению открытой пористости песчаников в 1,2-1,4 раза.

FORMING OF SANDSTONES COLLECTORS PROPERTIES UNDER THE TECHNOGENIC FACTOR INFLUENCE

Influence of mining operations have been investigated in the coal mining process on physical properties of sandstones, by means of apparent density, density of hard phase and opened porosity comparison on results of core assay of geological prospecting holes and mine workings. It was set that apparent density and coefficient of the opened porosity of sandstones, in the affected zone of mining operations substantially differ from the proper indexes in natural array. It is shown, that such volume expansion due to cracks formation, promotes increasing of sandstones open porosity in 1,2-1,4 time.

Характерною особливістю породних масивів, що вміщують гірничі виробки, є структурна порушеність різноманітними тріщинами, які послаблюють їх міцність та збільшують деформованість. Походження цих тріщин пов'язане як з геологічними умовами генезису та постдіагенетичного перетворення самої поро-