

6. Бокий Б.В. О формализованном инвариантном способе описания нелинейными многополюсниками зон шахтной вентиляционной сети с неопределенными структурой и аэродинамическими параметрами / Б.В. Бокий, Т.В. Бунько // Геотехническая механика: межвед. сб. научных трудов. – Днепропетровск, 2011. – вып. 92. – С. 264-274.
7. Новиков Ф.А. Дискретная математика для программистов. Учебник для вузов. 5-е изд. / Ф.А. Новиков. – СПб: Питер, 2004. – 364с.
8. Гринберг Э.Я. Использование некоторых инвариантных характеристик для установления изоморфизма графов / Э.Я. Гринберг, А.О. Кац // Латвийский мат. ежегодник. – 1977. – 21. – С. 124-135.
9. Дискретная математика для программистов. Изоморфизм направленных графов: Пер. с англ. - СПб.: Бинном. Лаборатория знаний, 2010. - 627с.
10. Островерхая Л.Д. Критерий изоморфизма и группа автоморфизмов графа / Л.Д. Островерхая, Н.А. Островерхий // Теория графов. - Киев, 1977. – С. 63-70.
11. Харари Ф. Теория графов. / Ф. Харари. – М.: Либроком, 2009 – 392с.
12. Абрамов Ф.А. Рудничная аэрогазодинамика // Ф.А. Абрамов - М.: Недра, 1972. - 274 с.
13. Скочинский А.А. Рудничная вентиляция / А.А. Скочинский, В.Б. Комаров. – М.: Углетехиздат, 1959. – 457с.
14. Зыков А.А. Основы теории графов / А.А. Зыков. - М.: Наука, 1987.- 384 с.
15. Булат А.Ф. Структурная идентификация шахтной вентиляционной сети / А.Ф. Булат, Т.В. Бунько, И.Е. Кокоулин // Уголь Украины. – 2004. - № 1. – С. 31-35.
16. Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. - Изд. 13-е испр. / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 544с.

УДК [622.831.325.3:621.643.001.24].004.1

Мл. науч. сотр. Л.А. Новиков
(ИГТМ НАН Украины)

РАСХОДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УЧАСТКОВ ВАКУУМНОГО ДЕГАЗАЦИОННОГО ТРУБОПРОВОДА

Розглянуте питання впливу дисперсного складу середовища, що рухається, на її газодинамічні параметри та видаткові характеристики ділянок шахтного дегазаційного трубопроводу

CONSUMABLES CHARACTERISTICS SECTIONS OF VACUUM PIPELINE DEGASSING

The question influence of the dispersed medium moved on its gas-dynamic parameters and consumables characteristics of mine sites degassing pipeline

Как известно, загрязненность вакуумного дегазационного трубопровода, нарушение его герметичности, а также присутствие в потоке метановоздушной смеси (МВС) взвешенных компонентов, приводят к возрастанию потерь давления в газопроводной сети [1, 2], изменению концентрации метана, отклонению расходных характеристик участковых трубопроводов от их нормативных значений. В результате повышаются энергозатраты на транспортировку МВС и снижаются показатели эффективности функционирования дегазационной системы.

В процессе развития горных работ увеличивается число последовательных соединений участковых трубопроводов и возрастает их суммарное гидравлическое сопротивление. По этой причине прокладывают дополнительные параллельные участки трубопровода, длина и диаметр которых определяются с учетом необходимых расходных характеристик [3].

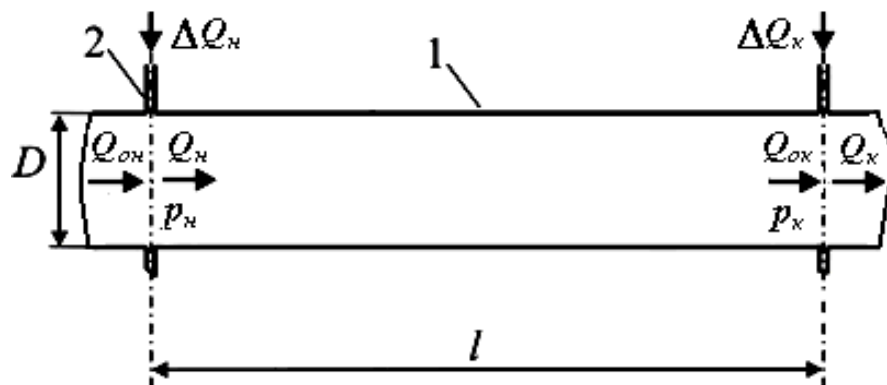
При расчетах газодинамических параметров участковых трубопроводов, как правило, рассматривают «чистую» МВС. Однако в реальных условиях движу-

щаяся среда является гетерогенной, так как состоит из газообразной, твердой и жидкой фазы. К газообразной фазе относится смесь метана и воздуха. Твердая фаза представляет собой взвешенные в потоке частицы угольной и породной пыли. Жидкая фаза состоит из взвешенных частиц влаги, которые определяют влажность МВС [4].

Таким образом, осуществление точного расчета расходных характеристик участковых трубопроводов с учетом условий их эксплуатации и физических свойств транспортируемой среды, является актуальной задачей, решение которой обеспечивает повышение эффективности работы шахтной дегазационной системы.

В данной работе предлагается методический подход для расчета расходных характеристик участковых дегазационных трубопроводов.

Рассмотрим движение «чистой» МВС в отдельно взятом звене горизонтального участкового дегазационного трубопровода (рис. 1)



1 – участковый трубопровод; 2 – фланцевые соединения соседних звеньев; l, D – длина звена и гидравлический диаметр трубопровода, м; $Q_{он}, Q_{ок}$ – суммарные расходы МВС в начальном и конечном сечениях звена, м³/с; $\Delta Q_n, \Delta Q_k$ – притечки воздуха в конечном сечениях звена, м³/с; Q_n, Q_k – расходы МВС в начальном и конечном сечениях звена до ее смешивания с притечками воздуха, м³/с; p_n, p_k – абсолютные давления МВС в начальном и конечном сечениях звена, Па

Рис. 1 – Звено горизонтального участкового трубопровода:

В начальном сечении звена происходит смешивание МВС с притечками воздуха. Следовательно

$$T_n = f(\Delta T_n, t_n, \Delta Q_n, Q_n), \quad (1)$$

где $\Delta T_n, t_n$ – температуры воздуха притечек и МВС перед ее смешиванием в начальном сечении звена, К.

Изменение температуры МВС по длине звена можно представить в виде функциональной зависимости

$$T(x) = f(T_n, x, C_{pн}, k, \rho_n), \quad (2)$$

где T_n – температура МВС в начальном сечении звена, К; ρ_n – плотность МВС в начальном сечении звена, кг/м³; $x = 0 - l$ – текущее расстояние, отсчитываемое вдоль оси звена, м; C_{pn} – удельная теплоемкость МВС в начальном сечении звена, Дж/(кг·К); k – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К).

Зависимость (1) не учитывает притечки воздуха ΔQ_k . Тогда при $x = l$ получим температуру МВС в конечном сечении звена $t_k = T(l)$ до ее смешивания с указанными притечками.

Плотность и газодинамическая постоянная МВС в начальном сечении звена определяются по формулам [5]:

$$\rho_n = p_n(R_n T_n)^{-1}; \quad (3)$$

$$R_n = R_\mu m_n^{-1}, \quad (4)$$

где p_n – абсолютное давления МВС в начальном сечении звена, Па; R_n – газовая постоянная МВС в начальном сечении звена, Дж/(кг·К); R_μ – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К); m_n – молекулярная масса МВС в начальном сечении звена, кг/моль.

Подставляя (4) в (3) получим

$$\rho_n = p_n m_n R_\mu^{-1} T_n^{-1}. \quad (5)$$

Суммарный расход МВС, расход метана и величина разряжения в начальном сечении звена определяются как:

$$Q_{он} = Q_n + \Delta Q_n; \quad (6)$$

$$Q_{mn} = c_n Q_{он}; \quad (7)$$

$$B_n = p_{бн} - p_n, \quad (8)$$

где $p_{бн}$ – барометрическое давление в горной выработке у начального сечения звена, Па; c_n – концентрация метана в начальном сечении звена, д.е.

Согласно работе [2] абсолютное давление МВС в конечном сечении звена определяется как

$$p_e = \sqrt{p_i^2 - 1,62 Q_{it}^2 \rho_i^2 R_i T_i \lambda D^{-5}}, \quad (9)$$

где λ – коэффициент сопротивления трения.

Потери давления МВС на трение по длине звена [6]

$$\Delta p_\lambda = 0,5 \lambda D^{-1} \rho_n u_n^2 \approx 0,81 \lambda D^{-5} \rho_n Q_{он}^2, \quad (10)$$

где u_n – средняя скорость МВС в начальном сечении звена, м/с.

Переходя к дегазационному трубопроводу в целом, следует иметь ввиду, что даже при отсутствии загрязненности величина p_k зависит от местных потерь давления, возникающих в местах установки запорной арматуры, диафрагм и т.п., а также от разности высотных отметок его отдельных участков (горизонтальные, наклонные и вертикальные) [3]. Тогда с учетом (10) выражение (9) можно представить в виде [4]

$$p_k = (1 \pm K_h) \sqrt{p_i (1 - 2\Delta p_\lambda)} - \Delta p_\zeta, \quad (11)$$

где Δp_ζ – местные потери давления, Па; K_h – коэффициент, учитывающий изменение геодезического напора в звене (для горизонтальных участков $K_h = 0$).

При восходящем движении МВС величина K_h принимается со знаком «-», а при нисходящем – со знаком «+».

В случае распределенных твердых отложений (продукты коррозии, частицы пыли) на внутренней поверхности звена, величина гидравлического диаметра D уменьшается на величину 2δ . Здесь δ – осредненная по длине звена толщина отложений. Если вместо распределенных отложений рассматривается скопление влаги в нижней части звена, то величина коэффициента λ определяется с учетом межфазного трения [4, 7].

После определения абсолютного давления МВС в конечном сечении звена строятся расходные характеристики:

$$Q_{ок} = f(p_k); \quad (12)$$

$$Q_{мк} = f(p_k), \quad (13)$$

где $Q_{ок}$, $Q_{мк}$ – объемные расходы МВС и метана в конечном сечении звена, м³/с.

Аналогичным образом по формулам (1), (4) – (8) определяются газодинамических параметров МВС в конечном сечении звена. После этого полученные значения используются в качестве начальных данных для расчета следующего звена. Расходные характеристики всего участка дегазационного трубопровода определяются в конечном сечении последнего звена.

Если не учитывать примеси других газов, то МВС в дегазационном трубопроводе можно рассматривать как бинарную газовую смесь. Для определения динамической вязкой этой смеси воспользуемся аппроксимацией Уилки [8]

$$\mu_{\bar{m}} = \frac{y_1 \mu_1}{y_1 + y_2 \psi_{1-2}} + \frac{y_2 \mu_2}{y_2 + y_1 \psi_{2-1}}, \quad (14)$$

где μ_1 , μ_2 – динамические вязкости компонентов смеси, Па·с; y_1 , $y_2 = 1 - y_1$ – объемные доли компонентов смеси, д.е; ψ_{1-2} , ψ_{2-1} – расчетные параметры, определяемые как:

$$\psi_{1-2} = \frac{\left(1 + \sqrt{\mu_1 \mu_2^{-1}} \sqrt[4]{m_2 m_1^{-1}}\right)^2}{\sqrt{8(1 + m_1 m_2^{-1})}};$$

$$\psi_{2-1} = \frac{\left(1 + \sqrt{\mu_2 \mu_1^{-1}} \sqrt[4]{m_1 m_2^{-1}}\right)^2}{\sqrt{8(1 + m_2 m_1^{-1})}},$$

где m_1, m_2 – молекулярные массы компонентов смеси, кг/моль.

Рассмотрим влияние дисперсного состава движущейся в трубопроводе среды на ее газодинамические параметры. Плотность, газовая постоянная и молекулярная масса влажной МВС определяются соответственно по формулам [9]:

$$\rho' = \frac{p'}{RT} - \frac{p_p}{T} \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{R_p} \right);$$

$$R' = R + dR_p;$$

$$m' = m + dm_p,$$

где p', p_p – давления влажной МВС и пара, Па; R, R_p – газовые постоянные «чистой» МВС и водяного пара, Дж/(кг·К); где m, m_p – молекулярные массы «чистой» МВС и пара, кг/моль; d – влагосодержание МВС, д.е; T – температура влажной МВС, К.

Влажную МВС можно рассматривать как двухфазную среду, состоящую из газа и водяного пара. Поэтому ее динамическую вязкость можно определить из выражения (14). Тогда расходные характеристики звена при движении влажной МВС будут определяться как:

$$Q_{ок}' = f(p_k'); \quad (15)$$

$$Q_{мк} = f(p_k'), \quad (16)$$

где $Q_{ок}'$ – суммарный расход влажной МВС в конечном сечении звена, м³/с; p_k' – абсолютное давление влажной МВС в конечном сечении звена, Па.

Увеличение влажности МВС приводит к соответствующему возрастанию ее плотности ρ' , а, следовательно, и потерь давления. По этой причине расходные характеристики (15), (16) будут отличаться от характеристик (12), (13).

Рассмотрим случай, когда в потоке влажной МВС содержатся ультрамикроскопические частицы пыли, с некоторой объемной концентрацией c_w . Примем следующие допущения:

- влажная МВС представляет собой однофазную среду;
- совокупность ультрамикроскопических частиц пыли образует пылевую газообразную среду, подчиняющуюся кинетической теории газов.

Молекулярная масса и динамическая вязкость пылевой газообразной среды будут определяться как [10]:

$$m_w = M_w N_A,$$

$$\mu_w = 3^{-1} u_w c_w \rho_c \bar{\lambda},$$

где N_A – число Авогадро, моль⁻¹; M_w – масса частицы пыли, кг; $\bar{\lambda}$ – средняя длина свободного пробега частицы, м; u_w – средняя скорость движения частицы, м/с; ρ_c – плотность частицы, кг/м³.

С учетом принятых допущений влажную МВС с ультрамикроскопическими частицами пыли можно рассматривать как смесь двух газов. Динамическая вязкость этой смеси определяется по формуле (14), а средняя плотность согласно закону аддитивности

$$\rho'' \approx \rho_c c_w + \rho'(1 - c_w). \quad (17)$$

Если же в потоке рассматриваемой смеси присутствуют более крупные взвешенные частицы пыли диаметром d_r с объемной концентрацией c_r , то при определении плотности такой среды необходимо объединить принятые газообразные составляющие (влажная МВС и пылевая газообразная среда). В результате мы получим двухфазную смесь, состоящую из твердой фазы (частицы диаметром d_r) и газообразной фазы.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

- влажную МВС и ультрамикроскопические частицы пыли можно представить в виде смеси двух газов, плотность которой определяется по правилу аддитивности;
- увеличение объемной концентрации взвешенных компонентов в потоке МВС приводит к увеличению плотности транспортируемой среды, возрастанию потерь давления на участках дегазационного трубопровода и изменению их расходных характеристик;

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карпов, Е. Ф. Автоматизация и контроль дегазационных систем / Е. Ф. Карпов, А. В. Рязанов. – М.: Недра, 1983. – 196 с.
2. Малашкина, В.А. Исследование влияния негерметичности дегазационных газопроводов угольных шахт на газодинамические режимы движения в них метановоздушной смеси / В. А. Малашкина, Н.А. Вострикова // ГИАБ. – 2006. – С. 401 – 410. – (Темат. прил. Метан).
3. Дегазация угольных шахт. Требования к способам и схемам дегазации. – Киев, 2004. – 126 с.
4. 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.
5. Жуховицкий, Д.Л. Сборник задач по технической термодинамике: учебное пособие / Д.Л. Жуховицкий. – Ульяновск: Улиту, 2004. – 98 с.

6. Идельчик, И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И.Е. Идельчик. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.
7. Нигматулин, Р.И. Основы механики гетерогенных сред / Р.И. Нигматулин. – М.: Наука, 1978. – 336 с.
8. Евдокимов, И.Н. Молекулярные механизмы вязкости жидкости и газа. Основные понятия / И.Н. Евдокимов, Н.Ю. Елисеев. – М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2005. – Ч.1. – 59 с.
9. Бурцев, С.И. Влажный воздух. Состав и свойства: учеб. пособ / С.И. Бурцев, Ю.Н. Цветков. – Санкт-Петербург: СПбГАХИПТ, 1998. – 146 с.
10. Рид, Р. Свойства газов и жидкостей / Р. Рид, Дж. Праусниц, Т. Шервуд. – Л.: Химия, 1982. – 592 с.

УДК 622. 742:621. 926:621.3. 06

Д-р техн. наук Е.С. Лапшин

(ИГТМ НАН Украины им. Н.С. Полякова)

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ УВЛАЖНЕНИЯ СТОХАСТИЧЕСКИ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ШАРА ПРИ ВИБРОУДАРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Визначено час зволоження кулі, яка під віброударним впливом здійснює стохастичні обертання на поверхні, що просіває. Рішення отримано на основі аналізу випадкового блукання на сфері з використанням методу Монте-Карло. Наведені приклади чисельного моделювання.

METHOD DEFINITION OF THE TIME OF MOISTENING STOCHASTICALLY A GYRATING SPHERE AT VIBROIMPACT EFFECT

The time of moistening of a sphere which under vibroimpact effect makes stochastic twirls on the deck. The solution is gained on the basis of the assaying of a random walk on sphere with use of a Monte-Carlo method. Instances of a numerical modeling are resulted.

При вибрационном тонком и сверхтонком грохочении влажного сырья одна из основных проблем – залипание отверстий просеивающей поверхности и комкование сырья, приводящие к снижению эффективности и производительности. Обзор путей ее решения приведен в работах [1, 2]. Представляется перспективным воздействие на просеивающую поверхность и сырье дополнительными импульсами, которые создаются за счет шаров, перемещающихся в виброударном режиме. При реализации этого способа важно знать время, за которое шар покрывается жидкостью, ибо оно характеризует продолжительность переходного процесса перемещения жидкости, влияющее на кинетику грохочения. В этой связи цель работы - разработка метода определения времени увлажнения шара при виброударном воздействии.

Видеозапись показала, что в режиме вибротранспортирования с подбрасыванием, шар совершает пространственные стохастические вращения, в результате которых он покрывается жидкостью. Поместим в центр шара сферическую систему координат (рис.1), в которой положение точки контакта с просеивающей поверхностью определяется радиусом ρ , азимутальным φ и θ полярным углом.

Для конкретной точки условимся координаты записывать с индексом, соответствующим обозначению точки. Для упрощения вычислений будем считать, что шар неподвижен, а по его поверхности случайным образом перемещается точка. Таким образом, будем рассматривать случайное блуждание точки по