

## **Выводы**

1. Компоненты энергетического процесса представлены как физические величины, пригодные для измерения, толкования и сопоставления с общепринятыми расчётными показателями.

2. Для 2-х форм тока и напряжения приведены подходы, позволяющие количественную оценку полной и реактивной мощности.

3. Приведена структурная схема для построения устройств измерения физических величин полной и реактивной мощности.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Проблемы энергосбережения и надежности в технологиях добычи и переработки россыпей / А.М. Сокил, В.Г. Скосырев, Ф.П. Шкрабец. – Днепропетровск: Полиграфист, 2000. – 195 с.

2. Непман Л.Р., Демирчан К.С. «Теоретические основы электротехники» том 1-2, - М.: Энергоиздатель 1981. – 34 с.

3. Федотов В.М. «К вопросу об определении понятий полной и реактивной мощностей и энергий» / В.М. Федотов // Тезисы докладов конференции «Эффективность и качество электроснабжения промпредприятий». – Жданов: ЖдМИ, 1983. – С. 157–160.

**УДК 622.831.325.3:621.643:532.576**

Л.А. Новиков, м.н.с.  
(ИГТМ НАН Украины)

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ ДАВЛЕНИЯ НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ УЧАСТКАХ ВАКУУМНОГО ДЕГАЗАЦИОННОГО ТРУБОПРОВОДА**

Розглянуті втрати тиску метано-повітряної суміші, що виникають при утворенні скупчень пилу та води на ділянках вакуумного дегазацийного трубопроводу

## **DETERMINATION OF THE LOSSES PRESSURE ON POLLUTED AREA OF VACUUM DEGASSING PIPE LINE**

The consider losses of the pressure is methane-air mixture, which appear when forming the concourses of dust and water on area vacuum degassing pipe line

Снижение эффективности работы шахтных дегазационных систем связано, как правило, с нарушением герметичности устьев скважин, фланцевых соединений звеньев труб дегазационного трубопровода, а также с образованием распределенных и местных отложений на его внутренней поверхности. Последнее обстоятельство приводит к увеличению потерь давления метано-воздушной смеси (МВС) на загрязненных участках газопроводной сети (потери давления на трение и местные потери), изменению их расходных характеристик [1, 2] и может стать причиной возникновения аварийной ситуации [3].

Распределенные отложения характеризуются большой протяженностью и представляют собой продукты коррозии, а также осевшие частицы пыли. Местные отложения, как правило, формируются в местах изменения направления движения газового потока (сопряжения участков трубопровода, места установки запорной арматуры и т.п.) и представляют собой скопления воды, пыли и шлама [4].

При турбулентном движении газа (или жидкости) в плавно изогнутых криволинейных трубах и каналах местными потерями давления можно пренебречь, рассматривая вместо этого потери на трение [5]

$$\Delta p_{\delta} = \frac{\rho w^2}{2} 0,0175 \lambda_{\delta} \delta \frac{r}{D} \approx 0,014 \rho Q^2 \lambda_{\delta} \delta r D^{-5}, \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность газа, кг/м<sup>3</sup>;  $w$  – скорость газа, м/с;  $Q$  – объемный расход газа, м<sup>3</sup>/с;  $D$  – гидравлический диаметр трубы, м;  $\lambda_{\delta}$  – коэффициент потерь на трение по длине криволинейного трубы;  $\delta$  – угол поворота, град;  $r$  – радиус кривизны оси трубы, м.

Выражение (1) позволяет определять потери на трение, когда  $r/D \geq 3$ . В случае, когда  $0,05 < r/D \leq 0,5$  (резкий поворот) необходимо учитывать местные потери давления

$$\Delta p_{\delta} = \frac{0,81 \rho Q^2}{D^4} K_{\Delta} K_{Re} \xi_{\delta}, \quad (2)$$

где  $K_{\Delta}$ ,  $K_{Re}$  – коэффициенты, зависящие от относительной шероховатости поверхности трубопровода и числа Рейнольдса соответственно;  $\xi_{\delta}$  – коэффициент местных потерь давления.

Рассмотрим прогиб дегазационного трубопровода, в котором образовалось скопление воды (рис. 1)

Из рис.1,а видно, что на участке  $L_2$  происходит плавное уменьшение, а затем увеличение проходного сечения трубопровода. При этом, характер течения МВС будет идентичен турбулентному течению газа в конфузоре и диффузоре с криволинейными образующими [5].

Ширина и длина скопления воды определяются по формулам:

$$b_{ж} = 2 \sqrt{\frac{D^2}{4} - \left(\frac{D}{2} - h_{ж}\right)^2}; \quad (3)$$

$$L_{ж} = 2 \sqrt{(r_{зг} + 0,5D)^2 - (r_{зг} + 0,5D - h_{ж})^2}. \quad (4)$$

Величина периметра трубопровода в месте скопления воды, обращенная к газовому потоку, равна

$$\dot{I}_f \approx \pi D \left(1 - \frac{\alpha}{360}\right) = \pi D \left(1 - \frac{\arcsin(b_{ж} D^{-1})}{180}\right). \quad (5)$$

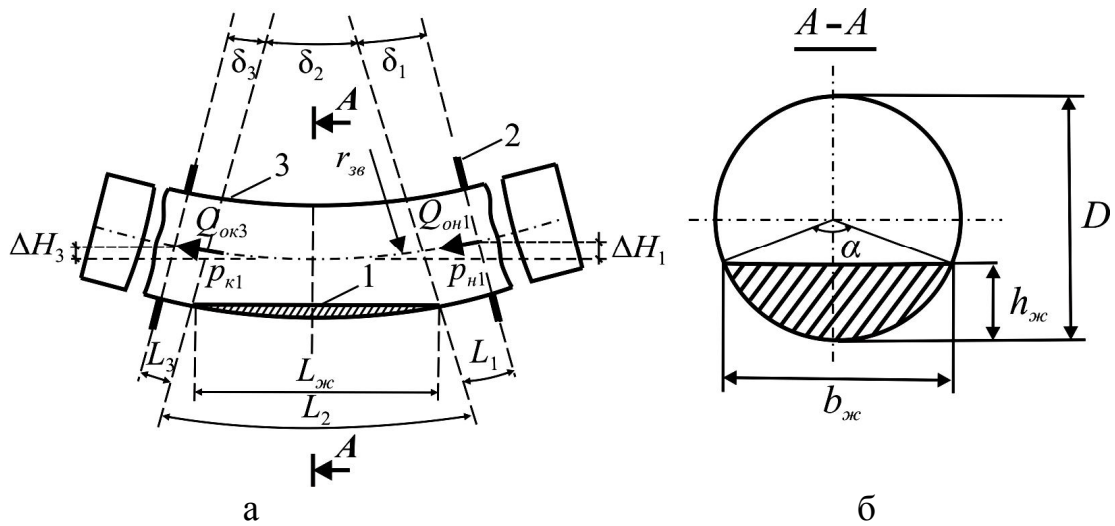


Рис. 1 – Форма скопления воды, сформировавшегося в криволинейном звене прогиба дегазационного става: а – по длине звена; б – в поперечном сечении звена; 1 – скопление воды; 2 – фланцевые соединения звеньев; 3 – звено;  $D$  – гидравлический диаметр трубопровода, м;  $L_1, L_2, L_3$  – участки звена, м;  $\alpha$  – угол, характеризующий ширину скопления, град;  $h_{жс}, L_{жс}, b_{жс}$  – толщина, длина и ширина скопления, м;  $r_{зв}$  – радиус кривизны оси звена, м;  $\delta_1, \delta_2, \delta_3$  – углы поворота участков  $L_1, L_2$  и  $L_3$ , град;  $\Delta H_1, \Delta H_3$  – разности высотных отметок начального и конечного сечений участков  $L_1$  и  $L_3$ , м;  $Q_{он1}, Q_{ок3}$  – объемные расходы МВС в начальном и конечном сечениях участков  $L_1$  и  $L_3$ , м<sup>3</sup>/с;  $p_{он1}, p_{ок3}$  – абсолютные давления МВС в начальном и конечном сечениях участков  $L_1$  и  $L_3$ , Па

Тогда для эквивалентного гидравлического диаметра и площади проходного сечения трубопровода в месте скопления воды можно записать:

$$D_f = \dot{V}_f \pi^{-1}; \quad (6)$$

$$S_f = 0,25\pi D_f^2. \quad (7)$$

При плавном уменьшении сечения трубопровода основными потерями давления будут потери на трение (по аналогии с криволинейной трубой). Величина этих потерь при сужении потока на участке  $L_2$  (рис. 1,а) определяется по формуле [5]

$$\Delta p_f = 0,5 \xi_f \rho_{i1} Q_{oi1}^2 S_f^{-2}, \quad (8)$$

где  $\xi_f$  – коэффициент потерь на трение в сужающейся части трубопровода;  $\rho_{н1}$  – плотность МВС в начальном сечении участка  $L_1$ , кг/м<sup>3</sup>.

В выражении (8) рассматривается только твердая поверхность, обращенная к газовому потоку, что не соответствует реальным условиям обтекания. Для учета потерь на трение, возникающих при взаимодействии газового потока с поверхностью воды (межфазное трение), представим выражение (8) в виде

$$\Delta p_f = 0,5\zeta_f \rho_{i1} Q_{oi1}^2 S_f^{-2} + \Delta p_f^*, \quad (9)$$

где  $\Delta p_f^*$  – потери давления на межфазное трение по длине сужающегося участка звена, Па.

Для плавно расширяющегося участка загрязненного звена (рис.1,а) потери на трение будут определяться как [5]

$$\Delta p_d \approx \frac{\rho_{i1} Q_{oi1}^2}{2S_f^2} \lambda (1 - 16S_f^2 \pi^{-2} D^{-4}) (8 \sin(0,5\alpha))^{-1} + \Delta p_d^*, \quad (10)$$

где  $\alpha$  – угол конусности, град;  $\Delta p_d^*$  – потери давления на межфазное трение по длине расширяющегося участка звена, Па.

Местные потери давления при расширении газового потока можно определить по формуле [5]

$$\Delta p_d' \approx \psi \frac{\rho_{i1} Q_{oi1}^2}{2S_f^2} \left( 1,43 - \frac{5,2S_f}{\pi D^2} \right) \left( 1 - \frac{4S_f}{\pi D^2} \right)^2 - \Delta p_d, \quad (11)$$

где  $\psi$  – поправочный коэффициент, определяемый согласно [5].

Потери давления на участках  $L_1, L_3$  будут определяться по формуле (1).

Если вместо скопления воды рассматривать скопление пыли и шлама, то можно принять шероховатость поверхности этого скопления такой же, как и у внутренней поверхности трубопровода ( $\Delta p_f^* = \Delta p_d^* = 0$ ). При этом периметр проходного сечения трубопровода

$$\dot{I}_f' \approx \pi D \left( 1 - \frac{\arcsin(b_\circ D^{-1})}{180} \right) + b_\circ,$$

где  $b_\tau$  – ширина твердого скопления, м.

Процесс образования скопления пыли в криволинейном звене сопряжения участков газопроводной сети может быть проиллюстрирован на рис. 2.

Заменим скопление пыли (рис. 2) криволинейным прямоугольным слоем шириной  $b_p$ , длиной  $L_p$  и средней толщиной  $0,5h_p$ . Тогда для объема этого слоя можно записать

$$V_p = 0,5h_p b_p L_p. \quad (12)$$

Распределив этот слой равномерно по всей внутренней поверхности криволинейного звена, получим, что объем полученного кольцевого слоя и соответственно гидравлический диаметр загрязненного криволинейного звена будут определяться по формулам:

$$V_{\varepsilon} = S_k L_{\delta} = 0,25\pi \left[ D^2 - (D - 2h_k)^2 \right] L_{\delta}; \quad (13)$$

$$D_p = D - 2h_k, \quad (14)$$

где  $S_k$  – площадь кольцевого слоя в поперечном сечении звена,  $\text{м}^2$ ;  $h_k$  – толщина кольцевого слоя,  $\text{м}$ .

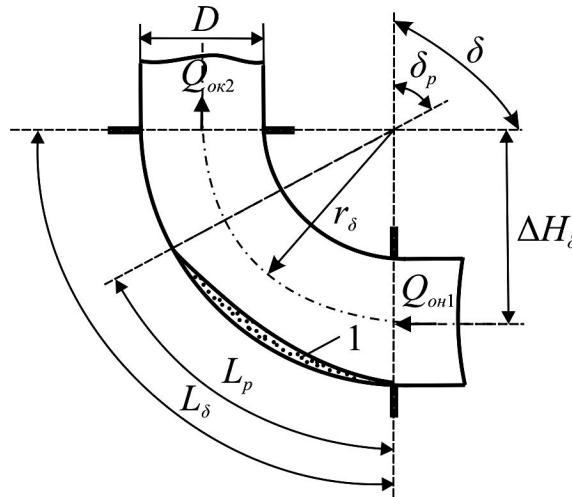


Рис. 2 – Форма скопления пыли в криволинейном звене сопряжения участков газопроводной сети: 1 – скопление пыли;  $L_{\delta}$ ,  $L_p$  – длины криволинейного звена и скопления пыли,  $\text{м}$ ;  $r_{\delta}$  – радиусы кривизны оси звена,  $\text{м}$ ;  $h_p$  – толщина скопления пыли,  $\text{м}$ ;  $\delta$  – угол поворота звена, град;  $\delta_p$  – угловой размер скопления пыли, град;  $\Delta H_{\delta}$  – разность высотных отметок начального и конечного сечений звена,  $\text{м}$ .

Из равенства объемов  $V_k$  и  $V_p$  следует, что

$$0,25\pi \left[ D^2 - (D - 2h_k)^2 \right] L_{\delta} = 0,5h_p b_p L_p. \quad (15)$$

Тогда из соотношения (15) получим

$$h_k = 0,5 \left( D - \sqrt{D^2 - \frac{2h_p b_p L_p}{\pi L_{\delta}}} \right). \quad (16)$$

Для определения потерь давления на трение и местных потерь в загрязненном криволинейном звене (рис. 2) необходимо в выражениях (1), (2) принять  $D = D_p$ .

В конечном сечении звена прямолинейного участка дегазационного трубопровода абсолютное давление МВС определяется как [6]

$$p_{\varepsilon} = \sqrt{p_i^2 - 1,62Q_i^2 \rho_i^2 R_i T_i l \lambda D_a^{-5}}, \quad (17)$$

где  $Q_n$  – объемный расход МВС в начальном сечении звена, м<sup>3</sup>/с;  $R_n$  – газовая постоянная МВС в начальном сечении звена, Дж/(кг·К);  $\lambda$  – коэффициента сопротивления трения;  $\rho_n$  – плотность МВС в начальном сечении звена, кг/м<sup>3</sup>;  $T_n$  – температура МВС в начальном сечении звена, К;  $D_z$  – гидравлический диаметр трубопровода, м.

Выражение (17) можно представить в виде

$$p_e = \sqrt{p_i (1 - 2\Delta p_\lambda)}, \quad (18)$$

где  $\Delta p_\lambda$  – потери давления на трение, Па, и, с учетом местных потерь давления, имеем

$$p_e = \sqrt{p_i (1 - 2\Delta p_\lambda)} - \Delta p_\zeta. \quad (19)$$

Применительно к горизонтальным, наклонным и вертикальным участкам газопроводной сети получим

$$p_e = \hat{E} \sqrt{p_i (1 - 2\Delta p_\lambda)} - \Delta p_\zeta,$$

где  $K$  – коэффициент, учитывающий изменение геодезического напора [3].

Поскольку в МВС содержатся взвешенные частицы пыли и влаги, газодинамические параметры движущейся среды будут отличаться от «чистой» МВС, а саму среду нужно рассматривать как гетерогенную. В частности, при увеличении объемной концентрации указанных компонентов происходит соответствующее возрастание плотности и потерь давления газового потока.

Таким образом, при определении потерь давления на загрязненных участках дегазационного трубопровода целесообразно учитывать характер загрязненности, размеры и форму местных отложений, а также реологические свойства движущейся среды.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влияние наличия влаги в дегазационном трубопроводе на его аэродинамические характеристики [Текст] / Л.А. Новиков, Т.В. Бунько, И.Е. Кокоулин, Б.В. Бокий // Геотехническая механика : Межвед. сб. науч. тр. / Ин-т геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2003. – Вып. 44. – С. 27–37.
2. Новиков Л.А. Исследование процесса движения метано-воздушной смеси с частицами влаги в дегазационном трубопроводе [Текст] / Л.А. Новиков, А.В. Пицык // Геотехническая механика : Межвед. сб. науч. тр. / Ин-т геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2006. – Вып. 65. – С. 170–176.
3. Дегазация угольных шахт. Требования к способам и схемам дегазации [Текст]. – Киев, 2004. – 126 с.
4. Новиков Л.А. Использование водоотделителей в дегазационных системах угольных шахт [Текст] / Л.А. Новиков // Геотехническая механика : Межвед. сб. науч. тр. / Ин-т геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2005. – Вып. 55. – С. 130–136.
5. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям [Текст] / И.Е. Идельчик. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.
6. Малашкина В.А. Дегазационные установки: Учебное пособие [Текст] / В.А. Малашкина. – М.: МГГУ, 2002. – 189 с.