

или

$$V_{ак} = V_{max}^{мес} \frac{(M-n) - \sum K_{<1}}{M} < 1, \quad (12)$$

где $\sum K_{<1}$ - сумма коэффициентов суточной неравномерности газопотребления, меньшая единицы. Требуемая доля аккумулируемого газа в процентах от максимального суточного расхода составит

$$\psi_{ак} = \frac{(M-n) - \sum K_{<1}}{K_{max}^c} 100, \%. \quad (13)$$

Резюме. Получены зависимости (5), (8), (12), (13) для определения объема и требуемой доли аккумулируемого газа по известным значениям коэффициентов суточной неравномерности. Уравнения могут быть использованы при расчете аккумулирующей способности конечного участка магистрального газопровода, бескомпрессорного газопровода-отвода.

Л и т е р а т у р а

1. Правила подачи газа магистральным газопроводам и потребителям, утвержденные Постановлением Госарбитража при СМ СССР от 31 июня 1961 г. № П-1. 2. Одельский Э.Х. Газоснабжение. Минск, 1966. 3. Гордюхин А.И. Режим работы городских систем газоснабжения. М., 1965. 4. Ионин А.А. Газоснабжение. М., 1965. 5. Фурман И.Я. Методика учета влияния режимов газопотребления при проектировании магистральных газопроводов. - "Газовая промышленность", 1963, № 3.

УДК 622.692.4.001.24

Б.К. Гинц (канд. техн. наук),
В.С. Алексеева, И.В. Волоханович

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ ФОРМУЛ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ГАЗОПРОВОДОВ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

Сравнение результатов гидравлического расчета газопроводов низкого давления по формулам, предложенным различными авторами, проводилось на трех примерах с газами из различных газовых месторождений, а именно, с природным газом Дашавского месторождения, имеющим удельный вес $\gamma = 0,72$ кгс/нм³, попутным газом Серафимовского месторождения Баш АССР с $\gamma = 1,445$ кгс/нм³ и газом Яблоновского

месторождения Куйбышевско-Бугурусланского района с $\gamma = 1,054 \text{ кгс/нм}^3$.

Для возможности сопоставления результатов исследования эти примеры рассматривались в одном гидравлическом режиме - режиме со слабо развитой турбулентностью потока газа, что характерно для движения газа низкого давления по трубопроводам.

Режим со слабо развитой турбулентностью характеризуется условием $Re < Re_{пр}$.

Чтобы сохранить режим со слабо развитой турбулентностью для различных примеров, соответственно менялись скорости движения газа и диаметры газопроводов. Для всех случаев подсчитывались удельные потери давления $R \text{ кгс/м}^2 \cdot \text{м}$ и сопоставлялись со значением R , подсчитанным по формуле СНиП II-Г. 11-66.

В основу современных формул гидравлического расчета газопроводов низкого давления положена формула Дарси - Вейсбаха:

$$dp = -\lambda \frac{v^2}{2g} \frac{\gamma}{d} dl, \quad (1)$$

где λ - коэффициент гидравлического сопротивления; d - диаметр газопровода, м; v - средняя скорость газа по сечению газопровода, м/с; γ - удельный вес газа, кгс/нм^3 ; l - длина газопровода, м.

Рассмотрены следующие формулы гидравлического расчета газопроводов низкого давления.

1. Рекомендация СНиП II-Г. 11-66 [1], по которой удельные потери давления в газопроводах низкого давления следует определять по выражению

$$R = 64 \lambda \frac{V^2}{5d} \gamma, \text{ кгс/м}^2 \cdot \text{м},$$

где λ - коэффициент гидравлического сопротивления; V - расход газа, $\text{нм}^3/\text{ч}$; d - внутренний диаметр, см; γ - удельный вес газа, кгс/нм^3 ;

а) при ламинарном режиме движения газа ($Re \leq 2000$)

$$\lambda = \frac{64}{Re};$$

тогда $R = 115420 \frac{V}{d^4} \gamma$, $\text{кгс/м}^2 \cdot \text{м}$;

б) при критическом режиме движения газа ($Re = 2000 - 4000$)

$$\lambda = 0,0025 \sqrt[3]{Re} ; \quad R = 0,0526 \frac{V^{2,333}}{d^{5,333}}, \text{ кгс/м}^2 \cdot \text{м};$$

в) при турбулентном режиме ($Re > 4000$)

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{k_{\text{э}}}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25};$$

$$R = 7 \left(\frac{k_{\text{э}}}{d} + 1922 \frac{\nu d}{V} \right)^{0,25} \frac{V^2}{d^5} \gamma, \text{ кгс/м}^2 \cdot \text{м}, \quad (2)$$

где $k_{\text{э}}$ - эквивалентная абсолютная шероховатость стенок труб, см; ν - кинематический коэффициент вязкости газа, $\text{м}^2/\text{с}$.

2. Исследования Э.Х.Одельского [2] приводят к выражению

$$R = 1,7 \cdot 10^5 \frac{V^{1,75}}{d^{4,75}} \gamma, \text{ кгс/м}^2 \cdot \text{м}. \quad (3)$$

В этом выражении для газов низкого давления принято, что $\gamma = \text{const}$, ввиду небольшого значения критерия Маха ($M = 0,01 - 0,02$); d выражен в мм, а расход газа V - в $\text{нм}^3/\text{ч}$. При получении приведенного уравнения коэффициент гидравлического сопротивления определялся по формуле Блазиуса

$$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}.$$

Для наиболее распространенных горючих газов при определении Re значение $\nu^{0,25}$ принималось равным 0,063.

3. Если для режима движения газа при слаборазвитой турбулентности ($Re = 10^4 - 10^7$) величину коэффициента гидравлического сопротивления определить по формуле И.Е. Ходановича [3]

$$\lambda = 0,067 \left(\frac{158}{Re} + \frac{2k}{d} \right)^{0,2},$$

то для определения удельной потери давления на трение получим формулу

$$R = 4,27 \cdot 10^5 \left(0,417 \frac{d^2 \nu}{V} + 2k \right)^{0,2} \frac{V^2}{d^{5,2}} \gamma. \quad (4)$$

4. А.А. Ионин [4] рекомендует формулу следующего вида:

$$R = 63,5 \lambda \frac{V^2}{d^5} \rho, \text{ кгс/м}^2 \cdot \text{м}, \quad (5)$$

полученную из уравнения Дарси - Вейсбаха при использовании уравнений состояния и сплошности течения для нормальных условий и при допущении, что для газопроводов низкого давления

$$\frac{p_n + p_k}{2} \approx p_0.$$

Размерности величин в уравнении А.А.Ионина следующие:

$$V - \text{м}^3/\text{ч}; \quad d - \text{см}; \quad \rho - \text{кг}/\text{м}^3.$$

При критическом режиме

$$\lambda = 0,0025 \sqrt[3]{\text{Re}},$$

а при турбулентном режиме, когда $\text{Re} > 4000$, коэффициент гидравлического сопротивления определяют по формуле Альтшуля

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{k_{\text{э}}}{d} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25}.$$

5. Н.Л.Стаскевич [5] предлагает формулу

$$R = 46,72 \frac{V^{1,75}}{d^{1,75}} \nu^{0,25} \gamma, \text{ кгс}/\text{м}^2 \cdot \text{м}, \quad (6)$$

при получении которой из формулы Дарси - Вейсбаха значение коэффициента гидравлического сопротивления принимается по формуле Блазиуса, а диаметр трубы выражается в сантиметрах.

6. Формула Поле [5] получена на основании эмпирических данных

$$V = \eta \sqrt{\frac{\Delta p d^5 \gamma_{\text{в}}}{\gamma_{\text{г}} l}} \quad \text{или} \quad \Delta p = \frac{V^2 \gamma_{\text{г}} l}{\eta^2 d^5 \gamma_{\text{в}}},$$

где V - объем газа, $\text{м}^3/\text{ч}$; Δp - потери давления, $\text{кгс}/\text{м}^2$; l - длина газопровода, м; η - корректировочный коэффициент, берется из табл. 12, 3, с. 538 [5].

Результаты, полученные по формулам гидравлического расчета, рекомендуемым СНИП II-Г. 11-66, А.А.Иониним и Э.Х. Одельским для природных газов с $\gamma = 0,72$ и $\gamma = 1,054 \text{ кгс}/\text{м}^3$, оказываются близкими. Если принять значение удельной потери давления (R), подсчитанной по СНИП II-Г. 11-66 за 100%, то значение R , представленное по методике А.А.Ионина, составит 100 - 102%, а по методике Э.Х. Одельского - 96%.

Формула Э.Х.Одельского для природного газа дает результаты, близкие к подсчитанным по формулам СНИП и А.А.Ионина. Для попутных газов, имеющих большее значение γ и меньшее для ν , чем для природного газа из чистогазовых месторождений (ν Э.Х.Одельского в формуле заложено, что $\nu_{0,25} = 0,063$), наблюдается отклонение в результатах для R .

Кроме того, формула Э.Х.Одельского универсальна для всех областей турбулентного и для переходного режимов, т.е. $2320 < \text{Re} < 100 \frac{r}{\epsilon}$, а формулы СНИП и А.А.Ионина имеют для этой области движения три выражения: для ламинарного, переходного и турбулентного режимов, поэтому и результаты получают более точными.

Результаты, полученные по формуле Поле, также дают некоторые отклонения от результатов по формуле СНИП, причем при $D = 150$ значения, полученные по формуле Поле, приближаются к 100% (103%). Это объясняется тем, что в формулу, имеющую вид

$$R = \frac{V^2 \gamma_r}{\gamma_B \eta^2 d^5},$$

входит так называемый корректировочный коэффициент η , зависящий от диаметра.

В примерах с газопроводами диаметром 200 и 250 мм получились несколько завышенные значения R , что можно объяснить постоянным корректировочным коэффициентом $\frac{1}{\eta^2} = 2,04$ для диаметров газопроводов 150 мм и выше.

Резюме. Исследуя формулы гидравлического расчета газопроводов низкого давления, выведенные рядом авторов, и сопоставляя их с формулой, рекомендованной СНИПом, приходим к выводу, что удельные потери давления R , подсчитанные по формулам А.А.Ионина и Э.Х.Одельского, имеют близкие значения по отношению к R , взятой по исходной формуле СНИПа.

Л и т е р а т у р а

1. СНИП II-Г. 11-66. Газоснабжение, внутренние устройства. Нормы проектирования. 2. Одельский Э.Х. Газоснабжение. Минск, 1966. 3. Ходанович И.Е., Одишария Г.Э. Анализ зависимости для коэффициента гидравлического сопротивления. - "Газовая промышленность", 1964, № 11. 4. Ионин А.А. Газоснабжение. М., 1965. 5. Стаскевич Н.Л. Справочное руководство по газоснабжению. Л., 1960.