Н.К. ЮРКОВ, Р.А. ШТЫКОВ

Перераспределение расхода газа для параллельных нитей, группированных по гидравлическим показателям в изотермическом режиме

УДК 681.324

Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых», г. Муром

В статье рассматривается использование группового подхода расчета сети, что позволяет сократить объем вычислений при наличии параллельных нитей с одинаковыми гидравлическими показателями.

Падение давления на элементарном участке горизонтального газопровода длиной L, при пренебрежении силой инерции газа, определяется по формуле (1) [1]:

$$P_H^2 - P_K^2 = \frac{\lambda ZRT}{DF^2} LM^2 . \tag{1}$$

Здесь P_H, P_K – значения давления в начале и конце участка; Z – коэффициент сжимаемости газа; R – приведенная газовая постоянная транспортируемого газа; T – постоянная (или средняя) температура газа н участке; D – внутренний диаметр газопровода; $F = \pi D^2 / 4$ – площадь поперечного сечения газопровода; M – массовый расход газа.

Переход к коммерческому расходу Q осуществляется через формулу (2):

$$Q = \frac{M}{\rho_{\text{ст}}} = \frac{R\mathrm{T}_{\text{ст}}}{\mathrm{P}_{\text{ст}}} M , \tag{2}$$

где $T_{\text{ст}}$ и $P_{\text{ст}}$ – стандартные температура и давление.

Ограничимся рассмотрением элементарного участка МГ, где установился развитый режим турбулентного течения. Поэтому коэффициент сопротивления трения λ принимается постоянным, например, по эмпирической формуле $\lambda = 0{,}11(k/D)^{0,25}$.

Если участок состоит из n одинаковых параллельных труб с сообщающимися концами, то на основе аналогов закона Кирхгофа можно доказать, что для участка устанавливается одинаковый расход газа по параллельным нитям: $M_i = M/n$. В связи с этим на данном конце участка значение давления газа определяется в виде (3):

$$P_K = \sqrt{P_H^2 - \frac{\lambda ZRTL}{DF^2}\left(\frac{M}{n}\right)^2}\,. \tag{3}$$

Если n_1 параллельные трубы имеют одинаковые гидравлические показатели (D_1 и k_1), а остальные n_2 параллельные трубы – отличающиеся от них показатели D_2 и k_2, то через трубы с одинаковыми показателями проходит одинаковый расход и получается зависимость $M = n_1 M_1 + n_2 M_2$, где M_1 – массовый расход газа по трубе из первой группы, а M_2 – по трубе из второй группы.

Согласно аналогу первого закона Кирхгофа $P_{1K} = P_{2K}$, т.е. на конце участка в обеих группах труб достигается одинаковое давление. Тогда в первой части (1), составленной для труб двух групп, имеются одинаковые выражения. Соответственно правые части формул должны иметь одинаковые значения. В связи с этим для M_1 и M_2 получаем второе уравнение:

$$\frac{\lambda_1 ZRT}{D_1 F_1^2} L M_1^2 = \frac{\lambda_2 ZRT}{D_2 F_2^2} L M_2^2\,. \tag{4}$$

Отсюда, с учетом принятого выражения коэффициента сопротивления, имеем (5):

$$\frac{k_1^{1/4}}{D_1^{21/4}} M_1^2 = \frac{k_2^{1/4}}{D_2^{21/4}} M_2^2 \tag{5}$$

или с учетом значения $M_2 = \dfrac{M - n_1 M_1}{n_2}$

$$\frac{k_1^{1/8}}{D_1^{21/8}} M_1 = \frac{k_2^{1/8}}{D_2^{21/8}} \frac{M - n_1 M_1}{n_2} \tag{6}$$

Поэтому по трубе первой группы массовый расход газа составляет

$$M_1 = \frac{M}{n_1 + n_2 \left(\frac{k_1}{k_2}\right)^{1/8} \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^{21/8}}. \tag{7}$$

Соответственно через трубы второй группы расход газа составляет

$$M_2 = \left(\frac{k_1}{k_2}\right)^{1/8} \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^{21/8} M_1 \tag{8}$$

Положим, что параллельные нити имеют три группы показателей: D_1, k_1; D_2, k_2 и D_3, k_3. В каждой группе по n_1, n_2 и n_3 труб. Распределение расхода газа подчиняется зависимости $M = n_1 M_1 + n_2 M_2 + n_3 M_3$, где M_1, M_2 и M_3 – соответственно расходы газа по отдельным нитям 1-й, 2-й и 3-й групп. Приравнивая значения давления на конце элементарного участка, получаем зависимости (9):

$$\frac{k_1^{1/8}}{D_1^{21/8}} M_1 = \frac{k_2^{1/8}}{D_2^{21/8}} M_2 = \frac{k_3^{1/8}}{D_3^{21/8}} M_3. \tag{9}$$

Совместное решение последних уравнений позволяет получить зависимости (10):

$$M_1 = \frac{M}{n_1 + n_2 \left(\frac{k_1}{k_2}\right)^{1/8} \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^{21/8} + n_3 \left(\frac{k_1}{k_3}\right)^{1/8} \left(\frac{D_3}{D_1}\right)^{21/8}},$$

$$M_2 = \left(\frac{k_1}{k_2}\right)^{1/8} \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^{21/8} M_1, \tag{10}$$

$$M_3 = \left(\frac{k_1}{k_3}\right)^{1/8} \left(\frac{D_3}{D_1}\right)^{21/8} M_1.$$

Рассуждая аналогичным образом для m групп труб, получаем формулы (11):

$$M_1 = \frac{M}{\sum_{i=1}^{m} n_i \left(\frac{k_1}{k_i}\right)^{1/8} \left(\frac{D_i}{D_1}\right)^{21/8}}, \; M_i = \left(\frac{k_1}{k_i}\right)^{1/8} \left(\frac{D_i}{D_1}\right)^{21/8} M_1. \tag{11}$$

Таким образом, получены формулы для гидравлического расчета участка с n группами параллельных нитей в изотермическом режиме. Преимущество предложенного нами способа выражается в том, что группируя трубы по гидравлическим показателям, достигается сокращение объема вычислений. Например, если участок состоит из четырех параллельных нитей с одинаковыми гидравлическими показателями, то по методике коэффициента расхода вычисления ведутся по каждой нити в отдельности. В то же время по предлагаемому варианту вычисления проводятся только один раз – для единой группы.

Соответственно, если для отдельной параллельной нити с показателями D и k коэффициент расхода составляет

$$k_p = \left(\frac{D}{D_0}\right)^{21/8} \left(\frac{k_0}{k}\right)^{1/8},$$

где D_0 и k_0 – показатели эталонного МГ, то для N параллельных нитей имеет место

$$k_p = \sum_{j=1}^{N} k_{pj},$$

и для участка с длиной L имеем обычную формулу

$$p_H^2 - p_K^2 = BQ^2 \frac{\lambda_0}{D_0^5} \frac{L}{k_p^2}.$$

Соответственно для случая со введением групп коэффициент расхода имеет значение

$$k_p = \sum_{i=1}^{N} n_i k_{pi}.$$

Таким образом, использование группового подхода позволяет сократить объем вычислений при наличии параллельных нитей с одинаковыми гидравлическими показателями. Так как выполняются условия аналогов законов Кирхгофа, то результаты расчетов совпадают с теми, которые получаются согласно методике коэффициента расхода.

Литература

1. Штыков Р.А. Расчет магистральной сети теплоснабжения на основе квазиодномерного моделирования. Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2012. Т. 1. С. 206-209.

E-MAIL: IPMRROMAN@YANDEX.RU