

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

УДК 681.324

ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ГАЗА ДЛЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ НИТЕЙ, ГРУППИРОВАННЫХ ПО ГИДРАВЛИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ В ИЗОТЕРМИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ

В. К. Дедков

Введение

Для надежной и эффективной работы магистральных газопроводов (МГ) необходимо обеспечить постоянный контроль параметров движения газа в изотермическом режиме и в режиме с учетом теплообмена с окружающей средой, что может быть выполнено различными способами. Одним из эффективных способов является применение методов математического моделирования, которые позволяют получить решения соответствующих задач численным и аналитическими способами.

Воздействие теплообмена на движение газа в трубопроводе может быть различным в зависимости от его расположения (надземная и подземная укладка, проход через реку и т.д.), а также от климатических условий. Кроме того, на изменение теплового режима течения газа по надземным газопроводам влияют солнечная радиация, скорость и направление ветра, ориентация газопровода на местности, температура грунта и воздуха и т.д.

Для увеличения пропускной способности и надежности функционирования конкретного участка магистрали прокладываются параллельные нити с общими входами и выходами [1, 2].

Разработка модели

Падение давления на элементарном участке горизонтального газопровода длиной L при пренебрежении силой инерции газа определяется по формуле

$$P_H^2 - P_K^2 = \frac{\lambda ZRT}{DF^2} LM^2,$$

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 на 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

$$Q = \frac{M}{\rho_{ст}} = \frac{RT_{ст}}{P_{ст}} M,$$

где $T_{ст}$ и $P_{ст}$ – 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 [3]

$$\lambda = 0,11(k/D)^{0,25}.$$

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

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

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:

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

Отсюда с учетом принятого выражения коэффициента сопротивления имеем

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

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

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

Поэтому по трубе первой группы массовый расход газа составляет

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

Соответственно через трубы второй группы расход газа составляет

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

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. Приведя значения давления на конце элементарного участка, получаем зависимости

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

Совместное решение последних уравнений позволяет получить зависимости

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

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

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

Рассуждая аналогичным образом для m групп труб, получаем формулы

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

$$M_i = \left(\frac{k_1}{k_i}\right)^{1/8} \left(\frac{D_i}{D_1}\right)^{21/8} M_1.$$

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 [4, 5].

Следовательно, 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 с введением групп коэффициент расхода имеет значение

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

Таким образом, получено аналитическое выражение, позволяющее оценить показатели магистрального газопровода и по ним оценить качество происходящих процессов.

Выводы

В результате реализации приведенной выше модели было установлено, использование группового подхода позволило сократить объем вычислений при наличии параллельных нитей с одинаковыми гидравлическими показателями, так как в предложенной модели выполняются условия как аналогов законов Кирхгофа [3].

Список литературы

1. Бордюгов, Г. А. Фигуривные потери природного газа / Г. А. Бордюгов, А. А. Апостолов, А. Г. Бордюгов // Газовая промышленность. – 1997. – № 10. – С. 45–56.
2. Козаченко, А. Н. Основы эксплуатации газотурбинных установок на магистральных газопроводах : учеб. пособие / А. Н. Козаченко. – М. : ГАНГ им. И. М. Губкина, 1993. – 139 с.
3. Козаченко, А. Н. Основы ресурсоэнергосберегающих технологий трубопроводного транспорта природных газов : учеб. пособие / А. Н. Козаченко, В. И. Никишин. – М. : ГАНГ им. И. М. Губкина, 1993. – 234 с.
4. Аналитическая оценка качества технических средств лазерно-информационной системы мониторинга объектов газотранспортной сети / И. И. Плюснин, К. И. Бушмелева, С. У. Увайсов, П. Е. Бушмелев, Е. В. Назаров // Труды Междунар. симп. Надежность и качество. – 2011. – Т. 1. – С. 69–75.
5. Влияние метеоданных при проектировании распределенной системы мониторинга газопроводов на основе беспроводных модулей / К. И. Бушмелева, Э. Л. Гуревич, П. Е. Бушмелев, И. И. Плюснин, С. У. Увайсов // Труды Междунар. симп. Надежность и качество. – 2013. – Т. 2. – С. 14–16.

Штыков Роман Александрович

кандидат технических наук, доцент,
кафедра физики и прикладной математики,
Муромский институт
Владимирского государственного университета
(600256, Россия, г. Муром, Владимирская область,
ул. Ленина, 115–172)
8(49234)2-29-42
8-920-622-20-22
E-mail: ipmroman@yandex.ru

Аннотация. Для увеличения пропускной способности и надежности функционирования конкретного участка магистрали прокладываются параллельные нитки с общими входами и выходами. Приводится методика определения гидравлических параметров движения газа по магистрали в изотермическом режиме и в режиме с учетом теплообмена с окружающей средой. Показано, что использование группового подхода позволило сократить объем вычислений при наличии параллельных нитей с одинаковыми гидравлическими показателями.

Ключевые слова: газопроводная сеть, газ, магистраль, модель.

Shtykov Roman Aleksandrovich

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of physics and applied mathematics,
Murom Institute of Vladimir State University
(600256, 115–172 Lenin street, Murom,
Vladimir Oblast, Russia)

Abstract. In order to increase the capacity and reliability of the operation of a particular plot line-parallel threads with shared inputs and outputs. The technique of definition of hydraulic parameters of gas line insulated and in view of the heat exchange with the environment. It is shown that the use of the cluster approach has reduced the volume of calculations with parallel threads with the same hydraulic performance.

Key words: gas pipeline network, gas, highway, model.

УДК 681.324

Штыков, Р. А.

Перераспределение расхода газа для параллельных нитей, группированных по гидравлическим показателям в изотермическом режиме / Р. А. Штыков // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 4 (8). – С. 78–82.