

Оптимизация количества и радиуса действия ПРГ с учетом устойчивой работы регулятора давления газа

*Т.В.Ефремова, Н.В.Гришь, А.С.Бурцева, М.А.Вьюшкина, О.В.Смирнова,
К.О.Пановская*

Волгоградский государственный технический университет

Аннотация: Приведен расчет оптимального количества ПРГ и оптимальных диаметров отдельных участков сети газопроводов среднего давления с обеспечением наилучших экономических показателей системы газораспределения.

Ключевые слова: оптимальный радиус, оптимальная нагрузка, оптимизация, давление, диаметр, схема газоснабжения, гидравлический расчет, пропускная способность регулятора давления.

Природный газ является высокоэффективным энергоносителем, и в условиях экономического кризиса газификация может составить основу социально-экономического развития, обеспечить улучшение условий труда.

Основной задачей при использовании природного газа является его рациональное потребление. Технически и экономически обоснованное проектирование систем газоснабжения способствует обеспечению потребителей необходимым количеством газа с определенным давлением. При этом принимаемые технико-экономические решения должны обеспечивать надежность работы систем при различных режимах отбора газа, в том числе и максимальном [1,2]. Распределительные системы являются сложными многокольцевыми системами, экономичное проектирование которых должно базироваться на современных методах оптимизации с учетом вероятностного характера функционирования и обеспечения требуемой надежности подачи газа потребителям [3].

При проектировании газораспределительных сетей выполняется гидравлический расчет, целью которого является подбор диаметров расчетных участков газовой сети, способных бесперебойно снабжать газом всех потребителей в часы максимального его потребления [4].

В современных условиях разработаны и применяются на практике различные программы гидравлического расчета газовых сетей. В задачи таких программ входят: расчет потоков и давления газа в газовых сетях городов и населенных пунктов, подбор диаметров труб при проектировании новой газовой сети.

С помощью таких программ можно получить значение давлений в узлах распределительной системы газоснабжения, расходы и скорости движения газа на расчетных участках. При этом программа нацелена на соблюдение задаваемых условий, совершенно не учитывает режим движения потока внутри системы. Не учитываются в таких программах и экономические аспекты, т.е. не определяется наиболее экономичный вариант, который можно получить, оптимизируя отдельные характеристики газовой сети.

Таковыми характеристиками при разработке принципиальной схемы газоснабжения является рациональное размещение пунктов редуцирования газа (далее ПРГ) и определение их оптимального количества. С увеличением количества ПРГ уменьшаются нагрузки и радиус действия городских магистралей, что приводит к уменьшению их сечений. В соответствии с этим уменьшаются расход металла и капиталовложения в городские сети. Большое количество ПРГ обеспечивает большую надежность систем газоснабжения [5].

В то же время следует иметь в виду, что с увеличением количества пунктов редуцирования газа возрастают затраты на их сооружение и строительство. Следовательно, оптимизация таких показателей сетей газораспределения, как количество газорегуляторных пунктов (ПРГ) и диаметров участков сети, позволяет обеспечить систему газораспределения не только наиболее экономичными показателями, но и обеспечить стабильный гидравлический режим [6,7].

При проектировании многоступенчатых систем газоснабжения возникает вопрос об экономически оптимальном радиусе действия R газорегуляторных пунктов, при котором общие затраты на систему будут минимальными.

Под радиусом действия ПРГ понимаем среднее расстояние по прямой от ПРГ до точек встречи потоков газа на границе раздела.

Количество ПРГ определяется выражением [8]:

$$n = \frac{F}{2R^2}, \quad (1)$$

где n – число ПРГ;

Оптимальный радиус, R , м, определяется по формуле [3]:

$$R^{opt} = 1,38 \left(\frac{P}{b} \right)^{0,388} \frac{(0,1\Delta P)^{0,081}}{\varphi_1^{0,388} q^{0,143}}, \quad (2)$$

где P – стоимость строительства одного ПРГ, руб. Стоимость пункта редуцирования газа напрямую зависит от технической оснащенности оборудованием, таким как тип регулятора, манометры, комплексы учета на базе турбинных или ротационных счетчиков; датчики температуры газа, оснащение комплексом телемеханики или телеметрии для возможности дистанционного управления и контроля этого оборудования; ΔP – перепад давления в газораспределительной сети со среднего до низкого давления, Па;

φ_1 – коэффициент плотности сети низкого давления:

$$\varphi_1 = 0,0075 + 0,003 \frac{m}{100}; \quad (3)$$

где m – плотность населения, чел/га. Значение плотности населения для конкретного населенного пункта принимается по данным, приведенным в официальных источниках. Если такой возможности нет, то плотность населения можно определить, разделив общее число жителей на площадь застройки.

q – удельная нагрузка сети, м³/ч·м,

$$q = \frac{m \cdot e}{10^4 \varphi_1}, \quad (4)$$

где e – удельный часовой расход газа на одного человека, м³/(ч·чел). Этот показатель задается или вычисляется, если известно количество жителей (N), потребляющих газ, и известно количество газа (V), потребляемого ими в час:

$$e = \frac{V}{N};$$

b – коэффициент стоимости трубопровода, руб/см·м, с учетом стоимости полиэтиленового трубопровода .

Оптимальную нагрузку ПРГ, Q_{opt} , м³/ч, определяют, исходя из площади, обслуживаемой ПРГ и равной $2R^2$, плотности населения и удельного расхода газа на 1 чел. по формуле :

$$Q_{opt} = \frac{meR^2}{5000}, \quad (5)$$

Приведенная выше методика применена при оптимизации сети газораспределения среднего давления северной части г. Камышина Волгоградской области. Данная сеть кольцевая выполнена из полиэтиленовых труб. С ее помощью снабжаются газом все виды потребителей: население в жилых домах, предприятия бытового обслуживания, общественного питания, торговли, а так же источники системы теплоснабжения. Кроме этого, газ используют промышленные предприятия: силикатный, стеклотарный и консервный заводы, крановый завод, хлопчатобумажный комбинат и предприятия по производству хлебобулочных и кондитерский изделий.

Для расчета приняты:

-стоимость P одного ПРГ была условно принята 207000 рублей [9]. В комплектацию входит две линии редуцирования, регулятор давления РДГ-

150, фильтр, предохранительная и запорная арматура. В качестве узла учета расхода газа используется счетчик газа турбинный с электронным корректором.

-расчетный перепад давления для распределительной сети со среднего до низкого давления $\Delta P=195000$ Па (при минимальной величине для категории среднего давления 0,2 МПа);

-плотность населения $m=160$ чел/га (принята по запросу в администрацию г.Камышина);

-удельный часовой расход на 1 чел. $e=0,62$ м³/(ч·чел),

-газифицируемая площадь, включая площадь проездов $F=3016500$ м²;

-коэффициент стоимости полиэтиленового трубопровода составляет $b=71$ руб/см·м [10].

Коэффициент плотности сети низкого давления [11]:

$$\varphi_1 = 0,0075 + 0,003 \frac{160}{100} = 0,0123.$$

Удельная нагрузка сети, м³/ч·м:

$$q = \frac{160 \cdot 0,62}{10^4 \cdot 0,0123} = 0,8065 \text{ м}^3/\text{ч}\cdot\text{м}.$$

Оптимальный радиус, R, м, :

$$R_{opt} = 1.38 \left(\frac{207000}{71} \right)^{0.388} \frac{195000^{0.081}}{0,0123^{0.388} \cdot 0,8065^{0.143}} = 464,7 \text{ м}.$$

Количество ПРГ:

$$n = \frac{3016500}{2 \cdot 464,7^2} = 6,98 \approx 7 \text{ шт.}$$

Оптимальная нагрузка ПРГ:

$$Q_{opt} = \frac{160 \cdot 0,62 \cdot 464,7^2}{5000} = 4285 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Для получившегося значения оптимальной нагрузки ПРГ и принятого регулятора РДГ-150 определяем максимальную пропускную способность регулятора при данных значениях:

$$Q_2 = Q_1 \frac{P_1^1 \varphi_1^1}{P_1 \varphi_1 \sqrt{\rho_0^1 / \rho_0}}$$
$$Q_2 = 5600 \frac{0,3 \cdot 0,5}{0,2 \cdot 0,5 \sqrt{0,73 / 0,72}} = 8342 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Регулятор работает устойчиво, если его расход не превышает 80 % от максимальной пропускной способности при данном режиме. Это значение составляет 6674 м³/ч. При этом значении нагрузка на регулятор, определенная при помощи выражения (5), составляет лишь 51%. Этот показатель и, соответственно, радиус действия ПРГ можно изменить, увеличив входное давление, что также приведет к уменьшению диаметра трубопроводов.

Рассчитаем, как изменится диаметр трубопровода при увеличении входного давления. Для этого воспользуемся формулой по (СП 42-101-2003 “Общие положения по проектированию и строительству газораспределительных систем из металлических и полиэтиленовых труб”):

$$P_H^2 - P_K^2 = 1,2687 \cdot 10^{-4} \lambda \frac{Q_0^2}{d^5} \rho_0 l,$$

где P_H – абсолютное давление в начале газопровода, Мпа; P_K – абсолютное давление в конце газопровода, Мпа; λ – коэффициент гидравлического трения; d – внутренний диаметр газопровода, см; l – расчетная длина газопровода постоянного диаметра; ρ_0 – плотность газа при нормальных условиях, кг/м³; Q_0 – расход газа, м³/ч, при нормальных условиях.

Для упрощения расчетов введем коэффициент

$$A = 1,2687 \cdot 10^{-4} \lambda Q_0^2 \rho_0 l. \quad (6)$$

Получим уравнение для определения диаметра:

$$P_H^2 - P_K^2 = \frac{A}{d^5}. \quad (7)$$

Выполнили расчет по определению оптимального радиуса действия, количества и оптимальной нагрузки ПРГ при входном давлении 0,25 МПа и 0,3 МПа. В результате получили, что при давлении 0,25 МПа диаметр уменьшается в 1,1 раза и составляет 50 мм (стоимость такой трубы составляет 50 руб./м), пропускная способность регулятора при этом составляет 75 %, а при 0,3 МПа - в 1,2 раза (43 руб./м), пропускная способность регулятора составляет 79%.

Из приведенных расчетов можно сделать вывод, что устойчивая работа регулятора и его экономически целесообразная эксплуатация наблюдается в условиях среднего давления величиной не менее 0,3 МПа.

Увеличение давления на выходе из ПРГ ведет к уменьшению значения среднего диаметра участков сети, что снижает капитальные затраты на строительство.

Применение приведенного выше расчета позволяет оптимизировать такие параметры системы как количество ПРГ, средний диаметр сети, нагрузка регулятора давления газа. Экономия капитальных затрат при этом может достигать до 30 % от общей стоимости системы.

Литература

1. Берхман Е.И. Экономика систем газоснабжения. М.: Недра, 1974. 376с.
2. Гостинин И.А. Расчет коэффициента надежности по назначению трубопровода для Западно-Сибирского региона // Инженерный Вестник Дона, 2014, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2419/.



3. Вирясов А.Н., Гостинин И.А., Семенова М.А. Применение труб коррозионно-стойкого исполнения для обеспечения надежности нефтегазотранспортных систем Западной Сибири // Инженерный Вестник Дона, 2013, №1 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2013/1487/.

4. Ионин А.А. Газоснабжение. 4-е изд. М.: Стройиздат, 1989. 439с.

5. Баясанов Д.Б., Ионин А.А. Распределительные системы газоснабжения. М., Стройиздат, 1977. 407с.

6. H.I. Zimmer. Calculating optimum pipeline operations. Technical Report Presented at the 1975 AGA Transmission Conference, El Paso Natural Gas Company, 1975. 324 p.

7. P.J. Wong and R.E. Larson. Optimization of natural gas pipeline systems via dynamic programming. IEEE Trans. Auto. Control, AC-13(5), October 1968. 586p.

8. Мариненко Е.Е., Ефремова Т.В. Проектирование газоснабжения жилых зданий и коммунальных объектов / ВолгГАСУ – Волгоград, 2005. 45с.

9. Газпроммаш URL: gasmashprom-s.ru/grpsh-16-1n-u1-grpsh-16-1v-u1-s-regulyatorom-rdg-150.html © (дата обращения: 26.11.2016).

10. СинтезПайп URL: sintezpipe.ru/prices/%D0%A2%D1%80%D1%83%D0%B1%D1%8B%20%D0%9F%D0%9D%D0%94.pdf (дата обращения: 26.11.2016).

11. Стаскевич Н. Л. Справочное руководство по газоснабжению. М.: Гостоптехиздат, 1960. 762 с.

References

1. Berkman E.I. Ekonomika sistem gazosnabzheniya [Economics of gas supply systems] М.: Nedra, 1974. 376p.

2. Gostinin I.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2014, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2419/.

3. Viryasov A.N., Gostinin I.A., Semenova M.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2013/1487
 4. Ionin A.A. Gazosnabzhenie [Gas supply] 4.e izd. M.: Stroyizdat, 1989. 439 p.
 5. Bayasanov D.B., Ionin A.A. Raspredelitel'nye sistemy gazosnabzheniya [Distribution of gas supply system]. M. Stroyizdat, 1977. 407 p.
 6. H.I. Zimmer. Calculating optimum pipeline operations. Technical Report Presented at the 1975 AGA Transmission Conference, El Paso Natural Gas Company, 1975. 324 p.
 7. P.J. Wong and R.E. Larson. Optimization of natural gas pipeline systems via dynamic programming. IEEE Trans. Auto. Control, AC-13(5), October 1968. 586 p.
 8. Marinenko E.E., Efremova T.V. Proektirovanie gazosnabzheniya zhilykh zdaniy i kommunal'nykh ob"ektov [Natural gas supply design of residential buildings and public facilities]. VolgGASU . Volgograd, 2005. 45 p.
 9. Gazprommash URL: gazmashprom-s.ru/grpsh-16-1n-u1-grpsh-16-1v-u1-s-regulyatorom-rdg-150.html© (accessed 26/11/2016)
 10. Sintez Payp URL: sintezpipe.ru/prices/%D0%A2%D1%80%D1%83%D0%B1%D1%8B%20%D0%9F%D0%9D%D0%94.pdf (accessed 26/11/2016)
 11. Staskevich N. L. Spravochnoe rukovodstvo po gazosnabzheniyu [Reference gas supply]. M.: Gostoptekhizdat, 1960. 762 p.
-