

но-качественное регулирование тепловых сетей. — М.—Л., 1959. — 144 с. 3. Справочник по специальным работам. Тепловая изоляция/Под ред. Г.Ф. Кузнецова. — М., 1976. — 439 с. 4. Справочник по наладке и эксплуатации водяных тепловых сетей/В.И. Манюк, Я.И. Каплинский, Э.Б. Хиж и др. Изд. 2-е. — М., 1982. — 215 с. 5. Бродский Е.Ф. К вопросу о резервировании в тепловых сетях. — В кн.: Исследования в области отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха: Сб. тр. ЛИСИ. — Л., 1971, вып. 66, с. 5—15.

УДК 622.691.5

Н.А. КРИВИЦКАЯ, канд. техн. наук,
О.В. ТРУТАЕВА, Н.Л. ЧЕРНЯЕВ (БПИ)

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ В КАЧЕСТВЕ ВОДОРОДОПРОВОДОВ

Выполнение широкой программы экономического и социального развития страны в одиннадцатой пятилетке и в период до 1990 г. требует дополнительного вовлечения в производство значительных топливно-энергетических ресурсов, в частности замены природного газа водородом. Последнее обуславливает необходимость решения комплекса вопросов, связанных с доставкой топлива потребителям и организацией процесса горения в водородоиспользующих приборах и агрегатах. Наиболее целесообразны применение в качестве водородопроводов существующих систем газоснабжения и в перспективе проектирование и строительство новых водородоснабжающих систем со структурой, аналогичной структуре современных газоснабжающих систем.

К настоящему времени в городах сложилась определенная структура систем газоснабжения, в основе классификации которых лежит давление газа в трубопроводах. В распределительных газопроводах низкого давления, составляющих 65—80 % общей протяженности городских систем, давление не превышает 3000 Па [1]. Оно представляет сумму: номинального давления газа перед горелками газоиспользующих приборов и агрегатов (от 1200 до 2000 Па), потерь давления газа во внутридомовых или внутриобъектовых системах (350 Па) и потерь давления во внутриквартальных, микрорайонных газопроводах (1450 Па). Величина последней составляющей обусловлена режимом движения газа по трубопроводам и радиусом действия системы.

Замена природного газа водородным топливом потребует анализа гидравлического режима используемых в качестве водородопроводов систем газоснабжения низкого давления или же обоснованного расчета вновь проектируемых водородоснабжающих систем.

При изменении свойств горючего газа условием постоянства тепловой нагрузки горелки газоиспользующего прибора является равенство

$$f W_0 \sqrt{p} = f_1 W_{0_1} \sqrt{p_1}, \quad (1)$$

где f и f_1 — площади сечения газовых сопел горелок; p и p_1 — давление газа на выходе из сопел; W_0 и W_{0_1} — число Воббе, являющееся критерием взаимозаменяемости горючих газов.

Число Воббе определяется по формуле $W_0 = Q_H / \sqrt{\rho'}$, где ρ' — относительная плотность газа (по воздуху в идентичных условиях). Эффективность работы газовых приборов с точки зрения стабилизации процессов горения обусловлена постоянством числа Воббе ($W_0 = W_{01}$).

В новых условиях горелки диффузионного типа могут быть использованы без конструктивных изменений — за счет изменения давления газа перед ними. Для инжекционных горелок с частичным и полным предварительным смешением газа и воздуха требуется изменение давления газа и площади сечения газового сопла [2]. Давление газа на выходе из сопла может быть определено из зависимости $p_1 = p (W_{01} / W_0)^2$.

Площадь сечения сопла и его диаметр соответственно равны

$$f_1 = f (W_0 / W_{01})^2; \quad d_1 = d W_0 / W_{01}.$$

Устойчивая работа наиболее удаленных от источника питания (газорегуляторного пункта) водородоиспользующих бытовых плит обеспечивается при давлении $p_1 \approx 900$ Па перед соплом горелки диаметром $d_1 = 1,4$ мм. (При использовании природного газа $p = 1200$ Па и $d = 1,2$ мм.)

Потери давления в газопроводах низкого давления при постоянном диаметре и заданном расходе газа рекомендуется определять по формуле (1):

$$P_1 - P_2 = 640 \lambda \frac{V^2}{D^5} \rho l, \quad (2)$$

где λ — коэффициент гидравлического сопротивления; V — расход газа; D — внутренний диаметр газопровода; ρ — плотность газа; l — длина участка газопровода с постоянным диаметром.

Наибольший возможный перепад давления в распределительных газопроводах низкого давления и во внутрисемейной системе $\Delta p = 1800$ Па; при этом средняя абсолютная величина давления газа $p = 103,4$ кПа. При таких значениях давлений наибольшее относительное изменение плотности газа в радиусе действия газорегуляторного пункта составляет 1,73 %. Это позволяет принимать постоянными плотность газовой среды и скорость ее перемещения в газопроводах низкого давления.

В водородопроводах, как и в используемых в настоящее время газопроводах, могут иметь место следующие режимы движения: ламинарный (при малых расходах в конструктивно заданных диаметрах); критический и переходный [3], для которых, соответственно,

$$\lambda = \frac{64}{Re}, (Re > 2320);$$

$$\lambda = 0,0025 \sqrt[3]{Re}, (Re \leq 4000);$$

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{k_9}{D} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}, (Re > 4000).$$

Коэффициент λ является функцией критерия Рейнольдса ($Re = vD/\nu$) и относительной шероховатости k_3 : $\lambda = f(Re; k_3/D)$, т.е. может изменяться с изменением кинематической вязкости движущейся среды и ее скорости. Изменение кинематической вязкости газа ν может быть вызвано изменением его температуры и давления в трубопроводе. Течение газа в трубопроводах относят к изотермическому процессу; температуру газа принимают равной 0°C , близкой к температуре грунта в период максимального потребления. Наибольшее относительное изменение ν в газопроводах низкого давления не превышает 2 %, что позволяет считать коэффициент кинематической вязкости величиной постоянной.

Из уравнения (2) путем соответствующих подстановок (в том числе значений плотности водорода для нормальных условий $\rho_0 = 0,0899 \text{ кг/м}^3$ и $\nu = 92,87 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$) и преобразований получены зависимости для определения линейных потерь давления в водородопроводах: для ламинарного режима

$$p_1 - p_2 = 9,4 \frac{V}{D^4} l; \quad (3)$$

для критического

$$p_1 - p_2 = 1,014 \frac{V^{2,333}}{D^{5,333}} l; \quad (4)$$

для переходного режима

$$p_1 - p_2 = 6,2 \left(\frac{k_3}{D} + 0,18 \frac{D}{V} \right)^{0,25} \frac{V^2}{D^5} l. \quad (5)$$

В зависимостях (3), (4) и (5) обозначениям соответствуют следующие размерности: D — в см; V — в $\text{м}^3/\text{ч}$; l — в м; k_3 — в см.

По полученным расчетным зависимостям построена номограмма, позволяющая определять линейные потери давления в водородопроводах диаметром от 50 до 200 мм. При расчете распределительных водородопроводов потери давления в местных сопротивлениях могут быть учтены путем увеличения расчетной длины трубопроводов на 5–10 % [1].

В газопроводах низкого давления по пути движения газа от газорегуляторного пункта до потребителя имеют место все рассматриваемые режимы движения. Сравнительный анализ перепадов давления в распределительных системах газоснабжения с оптимальным радиусом действия (для равнозначных условий снабжения потребителей природным газом и водородом) показал, что при замене природного газа водородом потери давления в трубопроводах увеличиваются на 35–40 %. При этом рабочей областью течения водорода является зона гидравлически гладких труб. Частичная компенсация линейных потерь давления в водородопроводах возможна за счет меньшей величины необходимого давления водорода перед водородоиспользующими приборами.

ЛИТЕРАТУРА

1. СНИП П-37-76. Газоснабжение. Внутренние и наружные устройства. Нормы проектирования. — М., 1977. — 87 с. 2. Михеев В.П., Медников Ю.П. Сжигание природного газа. — Л., 1975. — 392 с. 3. Борисов С.Н., Датошный В.В. Гидравлические расчеты газопроводов. — М., 1972. — 112 с.

УДК 696.43:532.5

В.М. КОПКО, канд.техн.наук,
В.М. ЕРМОЛЕНКО (БПИ)

О ГИДРАВЛИЧЕСКОМ РАСЧЕТЕ ТЕПЛОПРОВОДОВ СИСТЕМ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ С УЧЕТОМ НАКИПЕОБРАЗОВАНИЯ В ТРУБАХ

С целью поддержания расчетного гидравлического режима в системах горячего водоснабжения при проектировании требуется производить гидравлический расчет теплопроводов с учетом образования в трубах накипи [1]. В литературе [1] (приложение 8) рассматривается уменьшение диаметра труб Δd вследствие накипеобразования. Однако для практических расчетов пользоваться этими данными не представляется возможным, так как все имеющиеся вспомогательные таблицы и номограммы составлены для труб номенклатурой стандартных диаметров без учета накипеобразования. В источнике [2] указано, что "в гидравлических расчетах удельные потери напора необходимо определять по ближайшим меньшим на величину зарастания стандартным диаметрам труб". Здесь же рекомендуется в приближенных расчетах удельные потери напора зарастание труб учитывать путем увеличения табличных значений примерно на 20%. В литературе [3] влияние этого фактора предлагается учитывать введением поправочного коэффициента 1,2 к суммарной величине потерь давления в системе горячего водоснабжения. Наконец, в источнике [4] приведены корректирующие коэффициенты скорости движения воды K_w и удельных потерь давления на трение K_R . На эти коэффициенты следует умножать табличные значения скорости w и удельных потерь давления на трение R . Здесь же указано, что корректирующие коэффициенты приведены по данным СНИП [1]. Однако остается неизвестным, каким образом K_w и K_R рассчитаны. Данные гидравлического расчета систем горячего водоснабжения, полученные с учетом рекомендаций [2–4], показывают существенное расхождение последних.

Вот почему целью настоящей работы явилось:

определение удельных потерь давления и скоростей движения воды для труб различных диаметров с учетом накипеобразования по литературе [1] (приложение 8);

составление номограммы для гидравлического расчета теплопроводов систем горячего водоснабжения с учетом накипеобразования.

Скорость движения воды в трубопроводе при уменьшении диаметра на