

УДК 622.692.4

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВНУТРЕННИХ ГАЗОПРОВОДОВ ИЗ МЕДНЫХ ТРУБ

Авласевич А.И., Оленев И.Б.

Сибирский федеральный университет, Красноярск, e-mail: vanya.avlasevich@yandex.ru

В последние годы в России широко развивается строительство домов и коттеджей. Особое внимание при газификации уделяется выбору труб для газопроводов. В статье рассмотрены особенности расчета газопроводов из медных труб. Медные трубы обладают следующими положительными качествами – это пластичность, коррозионная стойкость, устойчивость к окислению, стойкость к колебаниям температуры, низкий коэффициент шероховатости. Медные трубы в процессе эксплуатации покрываются пленкой, состоящей из тонкого равномерного слоя окислов, который защищает поверхность трубы от дальнейшего взаимодействия с внешней средой и предотвращением окисления. В настоящее время отсутствуют номограммы для гидравлического расчета газопроводов из медных труб. Целью работы является разработка номограммы для расчета газопроводов из медных труб. На основе анализа существующих методик расчета выявлены показатели позволяющие учитывать материал труб газопровода. Полученные результаты позволили разработать номограмму для расчета газопроводов природного газа, которая используется при гидравлическом расчете газопроводов из медных труб.

Ключевые слова: газификация, расчет, газопровод, коэффициент шероховатости, медные трубы, потери давления, режимы движения газа, число Рейнольдса, номограмма

HYDRAULIC CALCULATION OF INTERNAL PIPELINES COPPER TUBES

Avlasevich A.I., Olenov I.B.

Sibirial Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: vanya.avlasevich@yandex.ru

In recent years, Russia is widely develops the construction of houses and cottages. Special attention is given to the selection of gasification pipes for gas pipelines. In the article the features of calculating gas pipelines copper tubes. Copper tubes have the following positive qualities is ductility, corrosion resistance, oxidation resistance, resistance to temperature fluctuations, low roughness coefficient. Copper pipe during operation shall be covered by a film consisting of a thin uniform layer of oxide that protects the pipe surface from further communication with the external Wednesday and prevent oxidation. There are currently no monograms for hydraulic calculation of gas pipes from copper pipes. The aim of the work is the design of nomograms to calculate gas pipelines copper tubes. Based on the analysis of existing methods of calculating indicators have been identified to accommodate the pipe material. The results obtained allowed to develop.

Keywords: gasification, calculation, pipeline, roughness coefficient, copper pipes, pressure loss, gas movement modes, Reynolds number, a nomogram

В последние годы в России широко развивается строительство частных домов и коттеджей. Много внимания при газификации домов уделяется выбору труб. Медные трубы обладают следующими положительными качествами – это пластичность, коррозионная стойкость, устойчивость к окислению, стойкость к колебаниям температуры, низкий коэффициент шероховатости. Внутренняя поверхность медных труб обладает большой гладкостью по сравнению со стальными и пластиковыми трубами. Медные трубы в процессе эксплуатации покрываются пленкой, состоящей из тонкого равномерного слоя окислов, который защищает поверхность трубы от дальнейшего взаимодействия с внешней средой и предотвращением окисления. Заращение внутренней поверхности медной трубы не происходит, а эквивалентная абсолютная шероховатость внутренней поверхности стенки не превышает 0,001 см. Срок службы медных труб составляет не менее 40 лет.

Согласно [1] допускается использовать медные трубы для газоснабжения в сетях низкого давления. При разработке проекта газификации жилого дома одной из самых важных задач является гидравлический расчет внутреннего газопровода, который полно приведен в [2]. В настоящее время отсутствуют номограммы для гидравлического расчета газопроводов из медных труб.

Целью работы является разработка номограммы для расчета газопроводов из медных труб для внутренних систем газоснабжения.

Задачи исследований заключены в проведении анализа методик гидравлического расчета с учетом особенностей материала, из которого изготовлены трубы.

Материалы и методы исследования

Для решения поставленных задач использовался теоретический подход, включающий в себя анализ и обобщение данных научно-технической литературы по проблеме исследований.

Проектирование систем газоснабжения осуществляется по [3], в котором отсутствуют особенности расчетов газопроводов из медных труб.

Расчет внутреннего газопровода состоит из двух этапов. На первом этапе определяем расчетные расходы газа по участкам сети. Расчет производится от наиболее удаленной точки до ввода газопровода. После определения расчетных расходов газа на каждом участке внутридомового газопровода приступаем ко второму этапу – гидравлическому расчету.

Гидравлические характеристики для стальных газопроводов достаточно хорошо изучены и приведены во многих работах.

Гидравлические потери при движении газов по трубопроводам вызываются двумя видами сопротивлений: линейными (или потерями на трение) и местными, возникающими на отдельных участках сети и обусловленными изменением величины или направления скорости потока. Потери давления в местных сопротивлениях весьма существенны во внутренних газовых сетях коммунально-бытовых и промышленных предприятий. Для учета местных потерь давления вводится надбавка к потерям давления на трение.

Теоретической базой гидравлических расчетов газопроводов являются уравнения газовой динамики, которые описывают зависимость между геометрическими параметрами трубопровода (внутренний диаметр и длина), физическими и термодинамическими свойствами газа (плотность, вязкость, коэффициент сжимаемости), затратой газа и потерями давления в газопроводе.

Падение давления на участке газовой сети низкого давления описывается [2] формулой

$$p_H - p_K = 626,1 \cdot \lambda \cdot \frac{V^2}{d^5} \rho l, \text{ Па}, \quad (1)$$

где p_H – давление в начале газопровода, Па; p_K – давление в конце газопровода, Па; λ – безразмерный коэффициент гидравлического трения; V – объемный расход газа, м³/ч; d – внутренний диаметр газопровода, см; ρ – плотность газа при нормальных условиях, кг/м³; l – длина газопровода, м.

Для определения удельных потерь давления на трение на один метр трубы формула (1) принимает вид

$$R_{уд} = \Delta p / l = 626,1 \cdot \lambda \cdot \frac{V^2}{d^5} \rho, \text{ Па/м}. \quad (2)$$

Коэффициент гидравлического трения λ определяют в зависимости от режима движения газа по газопроводу, который характеризуется числом Рейнольдса.

При расчете газопроводов безразмерный коэффициент гидравлического трения λ определяется:

- для ламинарного режима движения газа по формуле Стокса;
- для переходного (критического) режима движения газа по формуле Зайченко;
- для турбулентного режима движения газа в сетях низкого давления безразмерный коэффициент гидравлического трения определяется по формуле Блазиуса, для гидравлически гладкой стенки и формуле Альтшуля для гидравлически шероховатой стенки.

Для практического использования формулы (2), при определении удельных потерь давления для газопроводов, необходимо установить зависимость λ от числа Рейнольдса и относительной шероховатости. Общепринято, что при $Re < 2000$ течение газа в трубе ламинарное, критическая область (переходная от ла-

минарного течения в турбулентное) характеризуется $Re = 2000-4000$, при $Re > 4000$ течение газа турбулентное, которое характеризуется зоной гидравлически гладких труб и зоной, когда на гидравлическое сопротивление влияет шероховатость стенки. Граничные значения чисел Рейнольдса для стальных распределительных газопроводов, определяющие переход от гидравлически гладкой внутренней поверхности в зону шероховатых труб достаточно хорошо изучены и определяются по полуэмпирическим зависимостям, согласно [4], по условию

$$Re \left(\frac{k}{d} \right) < 23, \quad (3)$$

где Re – число Рейнольдса; k – эквивалентная абсолютная шероховатость внутренней поверхности стенки трубы, см; d – внутренний диаметр газопровода, см.

Вышеприведенные зависимости характерны только для транспортировки природного газа по стальным газопроводам диаметром более 50 мм.

В настоящее время остаются малоисследованными вопросы совместного влияния закрутки потока и шероховатости стенок канала на гидравлические характеристики для труб диаметром менее 50 мм, как при транспортировании природного, так и сжиженного углеводородного газа, особенно в трубопроводах из медных труб. Как известно, влияние шероховатости на гидравлическое сопротивление обуславливается формой и размером элементов неровностей внутренней поверхности газопровода. На гидравлическое сопротивление газопровода оказывают влияние не только скорость потока, диаметр трубы, плотность и вязкость газа, но и материал внутренней поверхности, и срок эксплуатации газопровода.

Согласно анализу данных во внутридомовых газопроводах наблюдаются все области течения газа по трубам. Гидравлические характеристики для ламинарного движения газа достаточно хорошо изучены и приемлемы для гидравлического расчета газопроводов, выполненных из медных труб. Вследствие большой сложности турбулентных течений до сих пор еще не создано достаточно удовлетворительной теории, непосредственно вытекающей из основных уравнений гидродинамики и полностью подтвержденной опытом, как для ламинарного движения. Экспериментально доказано, что турбулентный поток в трубе разделяется на две, резко отличные по структуре области. Непосредственно у стенки образуется очень тонкая область чисто вязкого движения – так называемый вязкий подслой. Остальная часть потока – турбулентное ядро – является областью мало или почти не зависящей от вязкости, областью турбулентного перемешивания. В зависимости от того, как относятся размеры выступов шероховатости и толщины ламинарного подслоя, все трубы могут быть при турбулентном режиме гидравлически гладкими и гидравлически шероховатыми. При высоте выступов шероховатости Δ меньше, чем толщина ламинарного подслоя ($\Delta < \delta$), шероховатость стенок не влияет на характер движения и, соответственно, потери напора не зависят от шероховатости, а когда высота выступов шероховатости превышает толщину ламинарного подслоя ($\Delta > \delta$), то потери напора зависят от шероховатости. В настоящее время получили распространение полуэмпирические теории турбулентности, влияющие скорости движения газа в трубе на разрушение ламинарного подслоя.

Граничные значения числа Рейнольдса для медных газопроводов, определяющие переход от гидравлически гладкой внутренней поверхности в зону шероховатых труб, малоизучены, а высота выступов (относительная шероховатость) медных труб значительно меньше, чем у стальных. Следовательно, ламинарный подслоя для медных труб имеет меньшую толщину, чем у стальных, при взаимодействии турбулентного потока со стенкой трубы, а это приводит к увеличению пропускной способности газопроводов в зоне гидравлически гладких труб. Согласно полуэмпирическим теориям турбулентности, на толщину ламинарного подслоя существенное влияние имеет скорость движения газа и его плотность. Взаимодействие турбулентного потока газа со стенкой медной трубы, влияющей на гидравлическое сопротивление, происходит при больших скоростях потока, что при-

водит к увеличению диапазона по числу Рейнольдса без проявления шероховатости. Для выявления критерия Рейнольдса, определяющего граничные условия перехода от гидравлически гладкой внутренней поверхности в зону шероховатых медных труб, проведены теоретические исследования. На основании проведенных исследований предлагается полуэмпирическая формула для определения толщины ламинарного подслоя при турбулентном потоке природного газа в медных трубах:

$$\delta \approx 0,64 \frac{d}{\text{Re} \sqrt{\lambda}}, \text{ см}, \quad (4)$$

где d – внутренний диаметр газопровода, см; Re – число Рейнольдса; λ – безразмерный коэффициент гидравлического трения.

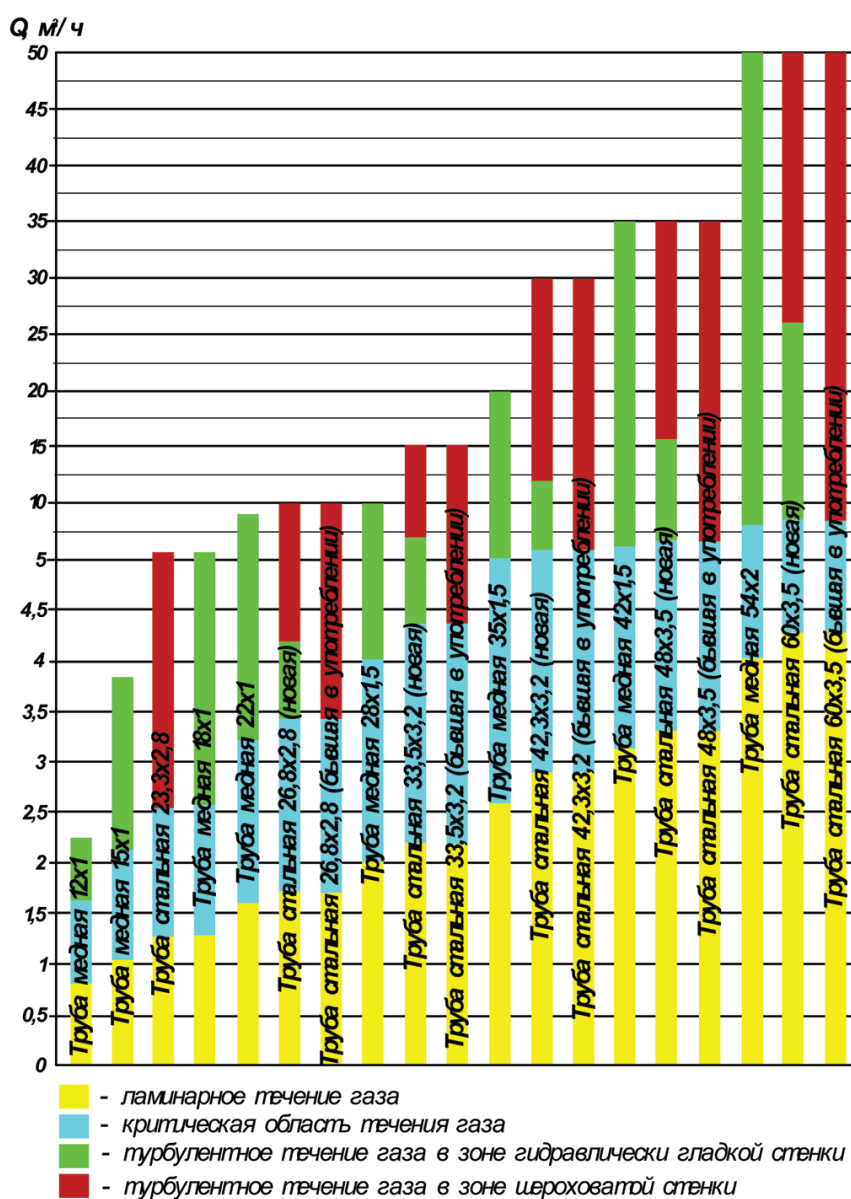


Рис. 1. Режимы течения газа во внутридомовых газопроводах низкого давления. Природный газ $\rho = 0,73 \text{ кг/м}^3$, $\nu = 14,3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ (при 0°C и $101,3 \text{ МПа}$)

Согласно проведенным исследованиям, граничные значения чисел Рейнольдса для медных газопроводов, определяющие переход от гидравлически гладкой внутренней поверхности в зону шероховатых труб, при которых толщина ламинарного подслоя меньше высоты выступа (относительной шероховатости), предлагается определять по полуэмпирической зависимости

$$\operatorname{Re}\left(\frac{k}{d}\right) \approx < 3,5, \quad (5)$$

где Re – число Рейнольдса; k – эквивалентная абсолютная шероховатость внутренней поверхности стенки трубы, см; d – внутренний диаметр газопровода, см.

Результаты исследования и их обсуждение

Эксплуатация внутридомовых систем газоснабжения имеет ограничение по ско-

рости движения газа до 7 м/с и суммарным потерям давления до 600 Па. Из рис. 1 отчетливо видно, что медные и стальные трубы, рекомендованные к использованию в системах газоснабжения зданий, имеют отличные гидравлические характеристики, влияющие на режимы движения газа и пропускную способность газопровода.

По существующим на сегодня нормам рекомендуется в газоснабжении применять медные трубы по [5] в твердом или повышенной твердости состоянии, с толщиной стенки не менее 1 мм, допускается применение импортных холодноотянутых медных труб. Технические характеристики медных труб рекомендованных для систем газоснабжения, приведены в [6], импортных аналогов в [7].

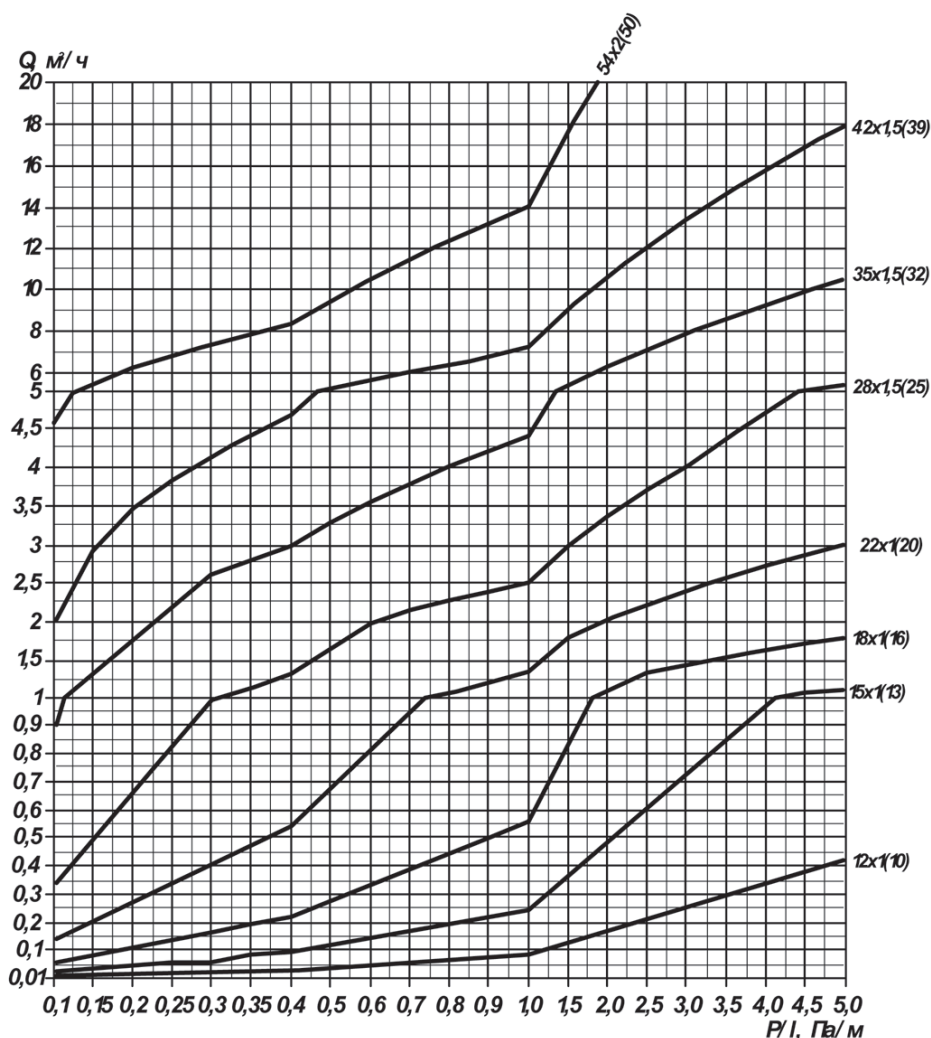


Рис. 2. Номограмма для определения потерь давления в газопроводах низкого давления, выполненных из медных труб (0–5 Па/м). Природный газ $\rho = 0,73 \text{ кг/м}^3$, $\nu = 14,3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ (при 0°C и $101,3 \text{ МПа}$)

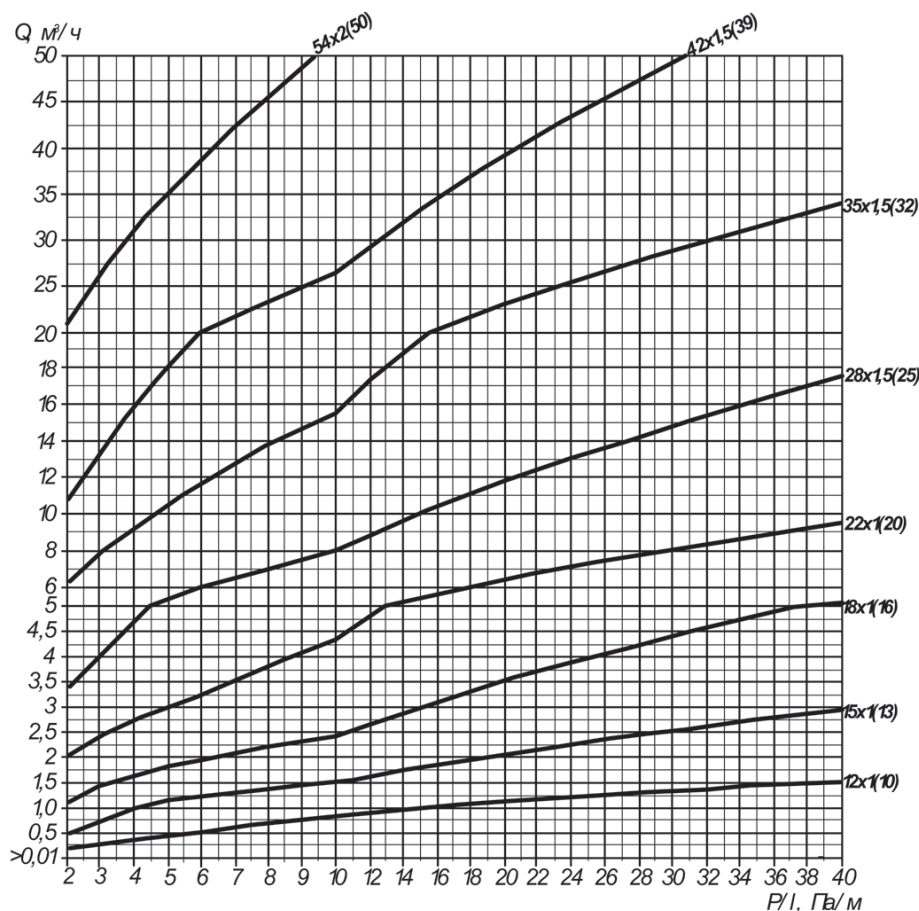


Рис. 3. Номограмма для определения потерь давления в газопроводах низкого давления, выполненных из медных труб (2–40 Па/м). Природный газ $\rho = 0,73 \text{ кг/м}^3$, $\nu = 14,3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ (при 0°C и $101,3 \text{ МПа}$)

Движение газа в газопроводах низкого давления охватывает области ламинарного, критического и турбулентного режимов. Поэтому вычисления удельных потерь давления производятся по различным формулам. Переходы от одного режима к другому выражаются определенными условиями, которые необходимо рассчитывать. Для расчетов удобны номограммы сетчатого типа. Они позволяют все расчетные формулы для различных режимов изображать на одном чертеже. На основании полученных данных построена номограмма для определения потерь давления в газопроводах низкого давления, выполненных из медных труб, которая приведена на рис. 2–3.

Выводы

В результате проведения исследования гидравлических режимов во внутридомовых газопроводах при использовании природного газа, получены и систематизированы сведения о гидравлических характеристиках медных газопроводов, рекомендованных к использованию в системах газоснабжения.

Полученные результаты позволили разработать номограмму для расчета газопроводов, которая используется при гидравлическом расчете газопроводов из медных труб.

Список литературы

1. СП 62.13330.2011. Газораспределительные системы. Актуализированная редакция СНиП 42-01-2002. – М.: ЗАО «Полимергаз». – 65 с.
2. Комина Г.П. Гидравлический расчет и проектирование газопроводов / Г.П. Комина, А.О. Прошутинский. – СПб.: СПбГАСУ, 2010. – 148 с.
3. СП 42-102-2004. Проектирование и строительство газопроводов из металлических труб. – М.: ЗАО «Полимергаз» / Дата актуализации: 01.02.2017. – 30 с.
4. СП 42-101-2003. Общие положения по проектированию и строительству газораспределительных систем из металлических и полиэтиленовых труб. – М.: Госстрой, 2003. – 182 с.
5. ГОСТ 617 – 2006. Трубы медные и латунные круглого сечения общего назначения. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2007. – 25 с.
6. Ионов В.С. Проектирование, монтаж и эксплуатация газопроводов из медных труб при газификации жилых и общественных зданий / В.С. Ионов В.С., О.Э. Вернер. – ОАО Гипренингаз: НИИ НЦМ, 2010. – 84 с.
7. Квалифицированная установка трубопроводов из медных труб и фитингов. Перевод с немецкого одноименной брошюры Немецкого института меди (DKI) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.c-o-k.ru/images/library/14186.pdf> (дата обращения: 01.08.17).