

## Определение коэффициента местного сопротивления для стального шарового крана в газораспределительных системах

*Т.В. Ефремова, И. Ю. Куликов*

*Институт архитектуры и строительства  
Волгоградского государственного технического университета*

**Аннотация:** В статье дано обоснование необходимости уточнения значения потерь давления в запорной арматуре. Рассматриваются различные методики определения коэффициента местного сопротивления стальных шаровых кранов. Выполнен сравнительный анализ полученных теоретическим и экспериментальным путем значений КМС. Даны рекомендации по применению числовых значений КМС стальных шаровых кранов.

**Ключевые слова:** гидравлический расчет, потери давления, отключающие устройства, шаровой кран, коэффициент местного сопротивления.

Одним из основных условий газоснабжения различных потребителей является безопасное использование газа. При возникновении вероятности аварийной ситуации на газопроводе необходимо быстро прекратить подачу газа в потенциально опасную зону. Прекращение подачи газа осуществляется с помощью отключающих устройств. В качестве отключающих устройств в газораспределительных системах используют, как правило, задвижки и краны [1]. Наибольшее распространение получили краны, благодаря их меньшей стоимости, удобству монтажа и легкости обслуживания.

В настоящее время на смену пробковым кранам повсеместно пришли шаровые краны, причем это касается как стальных, так и полиэтиленовых отключающих устройств. Шаровые краны обладают большей герметичностью и меньшим гидравлическим сопротивлением по сравнению с пробковыми [2, 3]. С точки зрения гидравлики, в корпусе шарового крана создается меньше завихрений, так как внутренняя конструкция такого крана предполагает меньше препятствий на пути движения газового потока [4].

При гидравлическом расчете надземных и внутренних газопроводов большое значение имеют потери давления в так называемых местных

сопротивлениях, в том числе, в запорной арматуре. Результаты исследования потерь давления в пробковых кранах можно найти в технической литературе [5-7], хотя данные разных авторов достаточно сильно разнятся. Исследований потерь давления в шаровых кранах в технической литературе практически не встречается. Учитывая то, что ни одна сеть газораспределения или газопотребления не может быть без отключающих устройств, то определение действительных потерь давления в кранах оказывает существенное влияние на результаты гидравлического расчета газопроводов [8].

Для подземных газопроводов, согласно СП 42-101-2003, потери давления в местных сопротивлениях (в том числе отключающих устройств) разрешается определять путем увеличения расчетной длины на 5-10 %. Для надземных и внутренних газопроводов необходимо знать коэффициент местного сопротивления (КМС) для каждого вида такого сопротивления.

Коэффициент местного сопротивления в шаровом кране можно представить, как сумму коэффициентов местного сопротивления на расширение, на сужение и потери, на линейном участке по длине прямолинейного участка между двумя местными сопротивлениями [9]:

$$\xi_{кр} = \xi_{расш} + \xi_{суж} + \xi_{лин}, \quad (1)$$

При внезапном расширении поперечного сечения крана возникают так называемые потери на “удар”. Коэффициент местного сопротивления удара в случае турбулентного течения ( $Re = w_0 D_T / \nu > 10^4$ ) зависит только от отношения площадей узкого и широкого сечений  $F_0/F_2$  (степени расширения  $n_{пр} = F_2/F_0$ ) и вычисляется по формуле Борда-Карно [4]:

$$\xi_{м} = \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = \left(1 - \frac{F_0}{F_2}\right)^2,$$

где  $\Delta p$  – потери давления, Па;  $\rho$  – плотность газа, кг/м<sup>3</sup>;  
 $w_0$  – скорость движения газа, м/с;  $F_0$  – площадь проходного сечения крана,  
м<sup>2</sup>;  $F_2$  – площадь проходного сечения трубопровода, м<sup>2</sup>.

Суммарный коэффициент сопротивления участка с внезапным расширением:

$$\xi = \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = \xi_m + \xi_{\text{тр}} = \xi_m + \frac{\xi_{\text{тр}}}{n_{\text{п}}^2},$$

где 
$$\xi_{\text{тр}} = \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = \lambda l_2 / D_2 \quad (\lambda=0,021).$$

При внезапном сужении потери проявляются при расширении струи, сжатой после входа из широкого канала в узкий, до полного сечения узкого канала. Коэффициент местного сопротивления внезапному сужению может быть определен приближенно по расчетной формуле [10]:

$$\xi_m = \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = 0,5 \left(1 - \frac{F_0}{F_2}\right)^{3/4},$$

Если площади выразить через внутренние диаметры трубопровода и шарового крана, то выражение (1) примет вид:

$$\xi_{\text{кр}} = \left(1 - \frac{D_0^2}{D_2^2}\right)^2 + \frac{2\lambda l_2}{D_2} + 0,5 \left(1 - \frac{D_0^2}{D_2^2}\right)^{3/4}.$$

При учете подобию конструкции шарового крана дроссельному клапану, то КМС можно определить по выражению:

$$\xi = \exp\left[2,3 \sum_{i=0}^6 a_i \left(\frac{h}{D_0}\right)^4\right],$$

где  $a_i$ :  $a_0=7,661175$ ;  $a_1=-72,63827$ ;  $a_2=345,7625$ ;  $a_3=-897,8331$ ;  $a_4=1275,939$ ;  
 $a_5=-938,8331$ ;  $a_6=278,8193$ ;  $h$  – разница между внутренними диаметрами трубопровода и крана, м [4].

Согласно [6] значение КМС пробковых кранов независимо от их конструкции, диаметра и расхода газа – 3,0-2,0. Этот интервал числовых

значений чаще всего принимаются в инженерных гидравлических расчетах надземных и внутренних газопроводов [3].

Коэффициент местного сопротивления можно определить косвенным методом, используя данные экспериментальных исследований. Экспериментальные исследования проведены на установке (рисунок 1), представляющей собой конструкцию из стальных труб диаметром 15, 20 и 25 мм. В состав установки входят шаровые краны соответствующих диаметров. Для определения истинных потерь давления в шаровых кранах предусмотрена обводная линия без отключающих устройств. Потери давления в кранах определялись, как разница значений в потерях давления на линиях с установкой крана и потерь давления в гладкой трубе.

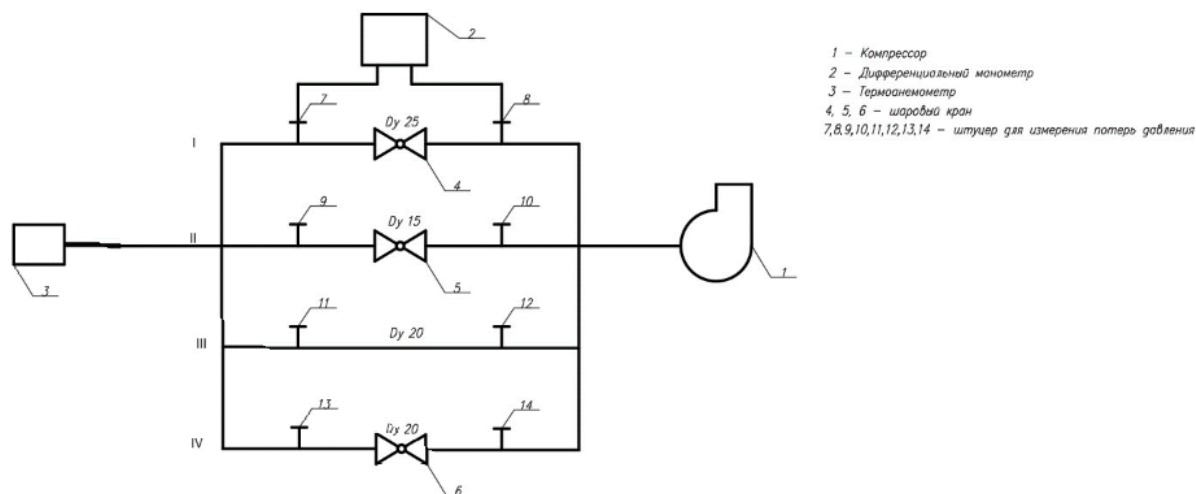


Рисунок 1. Схема экспериментальной установки

В этом случае, используя зависимости, приведенные в СП 42-101-2003, можно получить уравнение для определения коэффициента местного сопротивления шарового крана:

$$\xi = \Delta P \cdot \frac{d^4}{4,57 Q_0^2},$$

где  $d$  – диаметр прохода шарового крана, см.

Результаты определения КМС стального шарового крана диаметром 20 мм отражены на графике (рисунок 2).

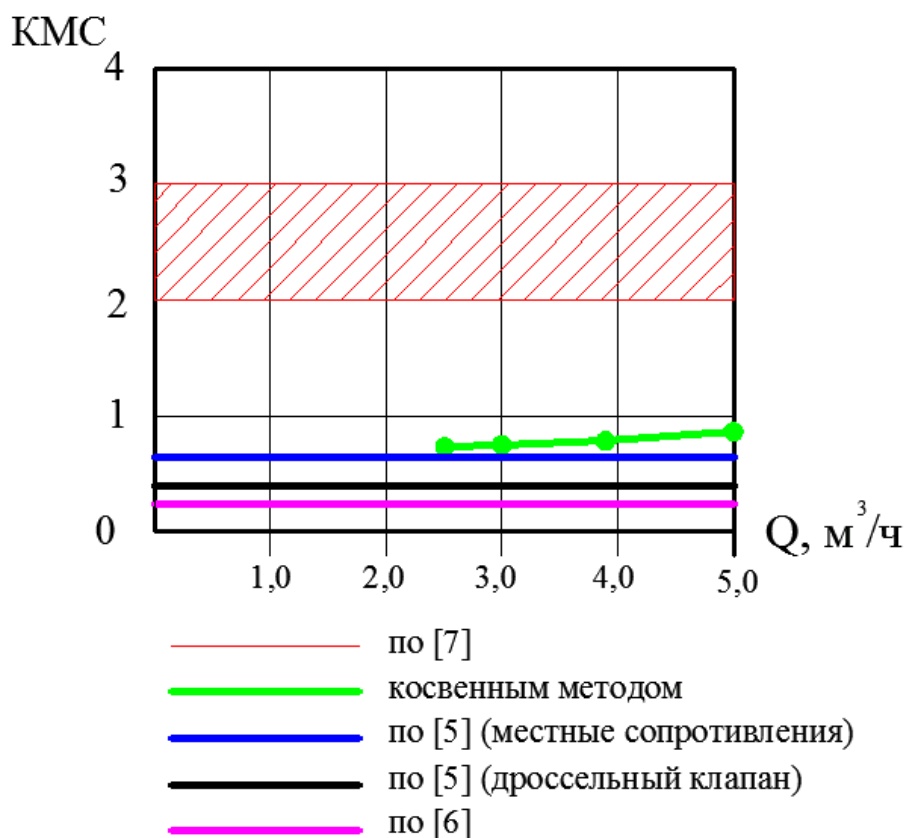


Рисунок 2. График КМС для стального шарового крана диаметром 20 мм

Анализ полученных результатов показывает, что коэффициент местного сопротивления для стального шарового крана незначительно зависит от расхода газа. По рекомендациям других исследователей этой зависимостью можно пренебречь. Следует отметить, что значения КМС в пределах 2,0-3,0 для шаровых кранов являются сильно завышенными. Самым оптимальным значением следует признать интервал 0,5-0,8, что не противоречит результатам как теоретических, так и экспериментальных исследований.

### Литература

1. Промышленное газовое оборудование/ под. ред. Е.А. Карякина: справочник. 6-е изд., перераб. и доп. – Саратов: Газовик, 2013. – 1280 с.
2. Ионин А.А. Газоснабжение. – М.: Стройиздат, 1989. 439 с.

3. Баясанов Д.Б., Ионин А.А. Распределительные системы газоснабжения. – М.: Стройиздат, 1977. 407 с.
4. Zimmer H.I. Calculating optimum pipeline operations. Technical Report Presented at the 1975 AGA Transmission Conference, El Paso Natural Gas Company, 1975 – 374 p.
5. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. — М., Л.: Гос. энергет. изд-во, 1960. 464 с.
6. Борисов С.Н., Даточный В.В. Гидравлические расчеты газопроводов. – М.: Недра, 1972. 112 с.
7. Стаскевич Н.Л., Северинец Г.Н., Вигдорчик Д.Я. Справочник по газоснабжению и использованию газа. – Л.: Недра, 1990. – 762 с.
8. Ефремова Т.В., Ашмарина Н.Н., Душкин В.В. Исследование потерь давления в сетях газораспределения при установке седловых отводов// Инженерный вестник Дона, 2019, №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5497](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5497).
9. Ефремова Т.В., Саломатин А.В., Шустов Н.А. Исследование потерь давления в стальных и полиэтиленовых фитингах, применяемых в системах газоснабжения // Инженерный вестник Дона, 2022, № 1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2022/7462](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2022/7462)
10. Ilinskij A., Solovev A., Bukharin P. Use of underground gas storage facilities to optimize the logistics of GAZPROM's export deliveries. XIV international scientific conference "Interagromash 2021". Precision Agriculture and Agricultural Machinery Industry. Series "Lecture Notes in Networks and Systems". Volume 246. 2022.

## References

1. Promyshlennoe gazovoe oborudovanie. Spravochnik. [Industrial gas equipment. Directory] Izdanie 6-e, pererabotannoe i dopolnennoe. Pod red. E.A. Karyakina. – Saratov: Gazovik, 2013. 1280 p.
2. Ionin A.A. Gazosnabzhenie [Gas supply]. M.: Strojizdat, 1989. 439 p.
3. Bayasanov D.B., Ionin A.A. Raspredelitel'nye sistemy gazosnabzheniya [Gas distribution systems]. M.: Strojizdat, 1977. 407 p.
4. Zimmer H.I. Calculating optimum pipeline operations. Technical Report Presented at the 1975 AGA Transmission Conference, El Paso Natural Gas Company, 1975. 374 p.
5. Idel'chik I.E. Spravochnik po gidravlicheskim soprotivlenijam [Handbook of hydraulic resistances]. M., L.: Gos. jenerget. izd-vo, 1960. 464 p.
6. Borisov S.N., Datochnyj V.V. Gidravlicheskie raschety gazoprovodov [Hydraulic calculations of gas pipelines]. M.: Nedra, 1972. 112 p.
7. Staskevich N.L., Severinec G.N., Vigdorchik D.Ja. Spravochnik po gazosnabzheniju i ispol'zovaniju gaza [Handbook on gas supply and use of gas]. L.: Nedra, 1990. 762 p.
8. Efremova T.V., Ashmarina N.N., Dushkin V. V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019, № 1. URL: [ivdon.ru ru magazine archive n 1 y 2019 5497](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5497).
9. Efremova T.V., Salomatin A. V., Shustov N. A., Inzhenernyj vestnik Dona, 2022, № 1. URL: [ivdon.ru ru magazine archive n 1 y 2022 7462](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2022/7462).
10. Ilinskij A., Solovev A., Bukharin P. XIV international scientific conference "Interagromash 2021". Precision Agriculture and Agricultural Machinery Industry. Series "Lecture Notes in Networks and Systems". Volume 246. 2022.