

УДК 622.691.4.052

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПЕРЕМЫЧЕК МЕЖДУ МАГИСТРАЛЬНЫМИ ГАЗОПРОВОДАМИ

Ванчин А. Г.

ФПСЭСТТ РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина
e-mail: alex_vanchin@mail.ru

Аннотация. В работе рассмотрены особенности гидравлического расчета технологических перемычек между магистральными газопроводами. Изучен состав факторов гидравлического сопротивления перемычки и степень их влияния на общий результат. На примере конкретного случая проведено сравнение расчетных и опытных данных. Даны рекомендации направленные на повышение достоверности гидравлической модели перемычки.

Ключевые слова: диагностика, транспорт природного газа, техническое состояние, гидравлический расчет, коэффициент сопротивления, перемычка.

Определение понятия перемычки между магистральными газопроводами.

Практика работы реальных газотранспортных предприятий показывает, что в основном, магистральные газопроводы (МГ) одинаковых проектных рабочих давлений объединяются в единый газотранспортный коридор с помощью технологических перемычек. Перемычка представляет трубопровод длиной 25 – 50 метров, как правило, меньшего диаметра по сравнению с основным МГ, в состав которого могут входить фасонные изделия (тройники, отводы, переходы) и запорная арматура.

Примеры вариантов исполнения технологических перемычек между магистральными газопроводами представлены на рис. 1 для наиболее распространенных диаметров МГ 1420мм и 1220мм, перемычки для которых соответственно имеют диаметр, как правило, 1020мм и 720мм.

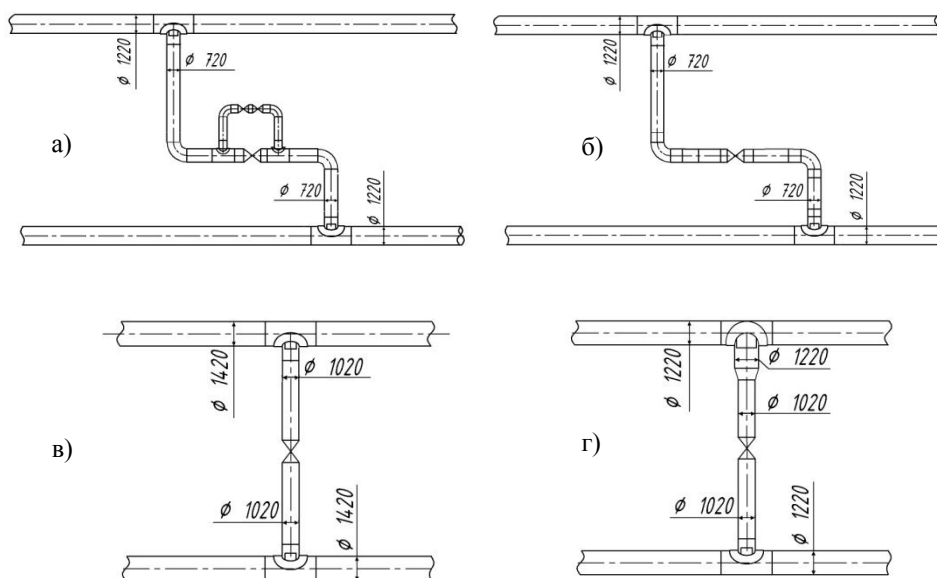


Рис. 1. Примеры вариантов исполнения технологических перемычек между магистральными газопроводами.

Ввиду сказанного существует необходимость гидравлического расчета сложных многониточных газотранспортных коридоров, неотъемлемой частью этого расчета является гидравлический расчет перемычек.

Гидравлический расчет перемычки между магистральными газопроводами.

Гидравлический расчет перемычки между магистральными газопроводами отличается от расчета обычного участка магистрального газопровода. Это обусловлено тем, что длина перемычки по сравнению с основным газопроводом мала, поэтому теплообмен через стенки трубы в общем тепловом балансе незначителен. Определяющее влияние на гидравлическую характеристику перемычки оказывают местные сопротивления, такие как тройники, которыми перемычка подключена к магистральным газопроводам, запорная арматура, переходы с одного диаметра на другой и отводы в самой перемычке, если она имеет сложную форму.

Снижение давления газа при его движении внутри труб происходит из-за преодоления сил трения и местных сопротивлений:

$$\Delta P = \Delta P_{TP} + \Delta P_{M.C.} \quad (1)$$

Гидравлическое сопротивление при движении газа внутри труб из-за потерь на местные сопротивления и определяется общеизвестной формулой:

$$\Delta P_{M.C.} = \sum_{j=1}^m \xi_j \cdot \frac{W_j^2 \cdot \rho_j}{2} \quad (2)$$

где ΔP – суммарные гидравлические потери, Па; W – средняя скорость газа, м/с; ρ – плотность газа в трубе, кг/м³; ξ – коэффициент местных сопротивлений; m – количество местных сопротивлений.

Средняя скорость газа в трубе определяется отношением объемного расхода газа к площади проходного сечения трубы:

$$W = \frac{Q}{F} = \frac{Q \cdot 4}{\pi \cdot d_{вн}^2}, \quad (3)$$

где Q – объемный расход газа, м³/с; F – площадь проходного сечения трубы, м².

Объемный расход газа пересчитывается из «коммерческого» по следующей формуле:

$$Q = Q_{ко.мм} \cdot \frac{\rho_{нр}}{\rho} \cdot \frac{10^6}{24 \cdot 60 \cdot 60} = Q_{ко.мм} \cdot \frac{\rho_{нр}}{\rho} \cdot \frac{1}{0.864}, \quad (4)$$

где $Q_{ко.мм}$ – «коммерческий» объемный расход газа, млн. н. м³/сут.; $\rho_{нр}$ – плотность газа в нормальных условиях, кг/м³.

С учетом выражений (3) и (4), формула (2) примет вид:

$$\Delta P_{M.C.} = Q_{ко.мм}^2 \cdot \frac{\rho_{нр}^2 \cdot 10^8}{\pi^2 \cdot d_{вн}^4 \cdot \rho \cdot 93312} \cdot \sum_{j=1}^m \xi_j \quad (5)$$

Средние значения коэффициентов некоторых видов местных сопротивлений приведены в таблице 1 по данным [1].

Таблица 1. Средние значения коэффициентов некоторых видов местных сопротивлений

Местное сопротивление	Значение ξ
Внезапное сужение в пределах перехода на следующий диаметр	0,35
Внезапное расширение в пределах перехода на следующий диаметр	0,3
Тройник на проход	1,0
Тройник на ответвление 90	1,5
Отвод гнутый 90	0,3
Задвижка	0,5
Шаровой кран	0,1
Компенсатор линзовый	1,6

Стоит отметить, что средние значения коэффициентов некоторых видов местных сопротивлений, приведенные в таблице 1, имеют весьма приблизительный характер.

Так, например, тройник марки ТСНР 1220(17,3)-1020(14)-5,6-0,754 в отличие от аналогичного по размерам ТСН 1220*1020 содержит в своей конструкции решетку в отводящем патрубке в целях предотвращения задевания очистных устройств при прохождении через тройник за кромку в месте приварки отводящего патрубка к остальной части тройника, а также для исключения попадания крупных загрязнений в перемышку.

Наличие решетки в отводящем патрубке тройника существенно влияет на общее гидравлическое сопротивление этого фасонного изделия.

В связи с указанными обстоятельствами, целесообразно определять суммарный коэффициент местных сопротивлений перемышки расчетом по имеющимся режимным данным. Решение этой задачи несколько облегчает тот факт, что для конкретного МГ при строительстве используется, как правило, типовое решение, предусматривающее одинаковый набор фасонных изделий и запорной арматуры для всех перемычек.

Пример расчета перемышки между магистральными газопроводами и сравнение результатов с опытными данными.

В качестве примера рассмотрим результаты гидравлического расчета перемышки, представленной на рис. 1 вариант б).

Основные исходные данные: длина перемышки 50 м, наружный диаметр 720 мм, внутренний диаметр 704 мм, коммерческий расход через перемышку 50 млн. н. м³/сут., начальная температура газа 40 °С, начальное абсолютное давление газа 7,5 МПа, температура грунта 9°С, состав газа – 98% метана.

В начале, был произведен расчет рассматриваемой перемышки как участка магистрального трубопровода такого же диаметра и той же длины - 50 м, осуществленный с помощью формул, представленных в нормах технологического проектирования магистральных газопроводов [2].

Согласно [2], формула расчета пропускной способности газа в нормальных условиях (млн. м³/сутки при 293,15К и 0,1013 МПа) однониточного участка газопровода для всех режимов течения газа, без учета рельефа трассы газопровода

$$q = 3,32 \cdot 10^{-6} \cdot d^{2,5} \cdot \sqrt{\frac{P_n^2 - P_k^2}{\lambda \cdot \Delta \cdot T_{cp} \cdot Z_{cp} \cdot L}}, \quad (6)$$

где d – внутренний диаметр трубы, м; P_n , P_k – абсолютные давления в начале и конце участка газопровода, соответственно, МПа; $C_1=105,087$; Δ – относительная плотность газа по воздуху; T_{cp} – средняя по длине участка газопровода

температура транспортируемого газа, К; Z_{cp} – средний по длине газопровода коэффициент сжимаемости газа, безразмерный; L – длина участка газопровода, км; λ – коэффициент гидравлического сопротивления участка газопровода, безразмерный.

Формула (6) является результатом совместного решения газодинамических уравнений движения и неразрывности для потока сжимаемой среды. Пример вывода формулы (6) показан в [3].

Согласно этому же документу [2], температура газа T в любой точке однониточного газопровода при любом способе прокладки определяется по формуле

$$T = T_0 + (T_n - T_0) \cdot e^{-ax} - D_i \frac{P_n^2 - P_k^2}{2 \cdot a \cdot L \cdot P_{cp}} \cdot (1 - e^{-ax}), \quad (7)$$

$$ax = 0,225 \cdot 10^6 \cdot \frac{k_{cp} \cdot d_n \cdot x}{q \cdot \Delta \cdot c_p \cdot 10^6},$$

где T_0 – расчетная температура окружающей среды; T_n – температура газа в начале участка газопровода, при отсутствии охлаждения газа на КС температуру T_n следует принимать равной температуре газа на выходе из компрессорного цеха; при наличии охлаждения газа величина T_n должна приниматься равной температуре газа на выходе из системы охлаждения, К; P_n , P_k – соответственно начальное и конечное абсолютное давление газа на участке, МПа; P_{cp} – среднее давление газа на участке, МПа; x – расстояние от начала газопровода до рассматриваемой точки, км; d_n – наружный диаметр газопровода, м; k_{cp} – средний на участке общий коэффициент теплопередачи от газа в окружающую среду; c_p – средняя изобарная теплоемкость газа, Вт/(м²·К); D_i – среднее на участке значение коэффициента Джоуля-Томсона, К/МПа.

Расчет с помощью формул (6) и (7) дал следующие результаты. Перепад давления за счет трения на участках трубы, входящих в состав перемычки равен 7991 Па, а снижение температуры произойдет на 0,032 градуса.

Затем был произведен расчет перепада давления на местных сопротивлениях перемычки с помощью формулы (5). Суммарный коэффициент местных сопротивлений данной перемычки $\Sigma \xi$ по данным в таблице 1 оказался равным 4,35. Рассчитанный таким образом по формуле (5) и найденной величине $\Sigma \xi$ перепад давления составил 47670 Па, что почти в 6 раз больше перепада давления за счет трения на участках трубы, входящих в состав перемычки. В зависимости от режима данное соотношение может существенно меняться, как показали вариантные расчеты, оно снижается с увеличением расхода и с

уменьшением давления на входе перемычки и варьируется в диапазоне возможных режимов работы для рассматриваемого случая примерно от 4 до 7.

Суммарный коэффициент местных сопротивлений данной перемычки $\Sigma \xi$, рассчитанный по формуле (2) с использованием данных, полученных в результате измерений технологических параметров работы реальных газопроводов с перемычкой, конструкция и размеры которой совпадают с рассчитываемым вариантом, находится с учетом погрешностей измерений в диапазоне от 5 до 5,3.

Проверить таким же образом снижение температуры на 0,032 градуса сложно, так как изменения температуры по требуемой точности выходят за рамки возможностей имеющихся измерительных средств, но в целом, следует ожидать соответствия расчетного и измеренного результатов ввиду очевидности предположения.

Сравнение данных, полученных в результате расчета с результатами измерений технологических параметров на реальной перемычке, показал приемлемое для практических целей соответствие, однако, как уже было отмечено, для получения более точных результатов расчетов, требуется калибровка расчетной гидравлической модели каждой перемычки по опытным данным.

Проведенные расчеты подтверждают правомерность выдвинутых в начале данного исследования исходных посылок.

Действительно, теплообмен через стенки перемычки в силу ее небольшой длины пренебрежимо мал. Также, при определении гидравлической характеристики перемычки нужно учитывать местные сопротивления перемычки.

Результаты проведенного исследования дают возможность получить правильную гидравлическую модель технологических перемычек для проведения гидравлического расчета сложных многониточных газотранспортных коридоров с учетом рассмотренных особенностей процесса течения газа через перемычку.

Выводы

При проведении гидравлического расчета перемычки допустимо не учитывать теплообмен с окружающей средой ввиду малой длины перемычки.

При проведении гидравлического расчета перемычки нужно обязательно учитывать местные сопротивления перемычки, так как они вносят основной вклад в общее сопротивление.

Для приблизительных расчетов можно использовать общеизвестные табличные значения коэффициентов местных сопротивлений фасонных изделий, входящих в состав перемычки.

В целях получения точных результатов расчетов, требуется калибровка расчетной гидравлической модели каждой перемычки по опытным данным.

Литература

1. Стаскевич Н. Л Северинец Г. Н., Вигдорчик Д. Я. Справочник по газоснабжению и использованию газа. Л.: Недра, 1990. 762 с.
2. Нормы технологического проектирования магистральных газопроводов. СТО Газпром. М.: ОАО «Газпром», 2006. 192 с.
3. Трубопроводный транспорт нефти и газа: учеб. для вузов/ Алиев Р.А. и др. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1988. 368 с.: ил.

HYDRAULIC CALCULATION OF CROSSING POINTS BETWEEN THE MAIN GAS PIPELINES

A.G. Vanchin,

*Faculty of designing, construction and operation of systems of pipeline transport of the
Russian state university of oil and gas of a name of I.M.Gubkin.
e-mail: alex_vanchin@mail.ru*

Abstract. *This work considers features of hydraulic calculation of interconnectors between the main gas pipelines, studies structure of factors of hydraulic resistance of a crossing point and extent of their influence on the general result. The author of the article represents comparison of settlement and skilled data on an example of a concrete case, makes the recommendations directed on increase of reliability of hydraulic model of a crossing point.*

Keywords: *diagnostics, transport of natural gas, technical condition, hydraulic calculation, hydraulic model, factor of resistance, crossing point.*

References

1. Staskevich N. L Severinec G. N., Vigdorchik D. Ya. Spravochnik po gazosnabzheniyu i ispol'zovaniyu gaza. L.: Nedra, 1990. 762 s.
2. Normy tehnologicheskogo proektirovaniya magistral'nyh gazoprovodov. STO Gazprom. M.: OAO «Gazprom», 2006. 192 s.
3. Truboprovodnyi transport nefti i gaza: ucheb. dlya vuzov/ Aliev R.A. i dr. 2-e izd., pererab. i dop. M.: Nedra, 1988. 368 s.: il.

Сведения об авторе

Ванчин Алексей Геннадиевич, главный инженер филиала ООО «Газпром трансгаз Москва» Курское ЛПУМГ, докторант кафедры термодинамики и тепловых двигателей РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина,
телефон 8-75-2-11 (телефонная сеть Газпрома),
(4712)328844,
8-961-167-22-11.