

Определение коэффициента сжимаемости газа при дегазации участка газопровода

Т.В. Ефремова, П.С. Матвеев

*Институт архитектуры и строительства
Волгоградского государственного технического университета*

Аннотация: Дается анализ аварийности на газопроводах. Приводятся математические зависимости объема газа, поступающего в атмосферу при дегазации участка газопровода. Предлагается номограмма для определения коэффициента сжимаемости природного газа, транспортируемого по газораспределительным сетям.

Ключевые слова: газопроводы, аварийность, дегазация, стравливание газа, коэффициент сжимаемости газа.

Современные газопроводы, как наружные, так и внутренние, являются источником повышенной опасности. При несоблюдении правил эксплуатации, неправильной оценке коррозионного состояния грунта и, соответственно, подземных стальных газопроводов, а также при выполнении некачественных земляных работ вероятность создания аварийной ситуации повышается. При аварии, как правило, наблюдается утечка газа из поврежденного газопровода.

Анализ аварийности на стальных распределительных газопроводах показал, что в 63% случаев наблюдается утечка из подземного газопровода, в 27% – из надземного, в 10% случаев – из подводного участка газопровода. Для подземных газопроводов в 56 % утечка происходит под землей, а в 44 % – в вырытом котловане. В 7 % авария сопровождается образованием факела (горящей струи), в 16 % – сгоранием утечки (колышущее пламя), в большинстве же случаев (77 %) происходит рассеивание утечки без горения. Для полиэтиленовых газопроводов характерно увеличение в общем количестве аварий доли повреждений от внешних механических воздействий и аварий, связанных с температурными напряжениями [1-3].

Экономический ущерб при аварийной утечке газа на газопроводе состоит из затрат на восстановление разрушенного участка газопровода, стоимости потерянного газа, а также возмещения экономического ущерба за

выброс природного газа в атмосферу. Но самые значительные последствия аварий на сетях газораспределения и газопотребления является прекращение газоснабжения потребителей [4,5].

Процесс дегазации отдельных участков газопровода может наблюдаться не только в аварийных ситуациях, но и при производстве ремонтных работ. В этом случае необходимо говорить о стравливании газа. Стравливание природного газа – это технологическая операция опорожнения емкостного оборудования, технологических коммуникаций, линейных участков газопровода от природного газа при остановке оборудования или отключении участка газопровода, сопровождающаяся залповым выбросом газа в атмосферу через свечу [6]. Для определения экономического ущерба такой технологической операции необходимо знать объем газа, выбрасываемого в воздушную среду. Объем газа, подлежащий процессу стравливания, определяется по выражению [7]:

$$Q_{\text{оп}} = 9,95 \cdot V \left(\frac{P_{\text{н.ср.}}}{Z_{\text{н}}} - \frac{P_{\text{к.ср.}}}{Z_{\text{к}}} \right),$$

где V – геометрический объем опорожняемого участка, м^3 ;

$P_{\text{н.ср.}}$ и $P_{\text{к.ср.}}$ – среднее абсолютное давление газа перед началом работы и после опорожнения участка, МПа;

$Z_{\text{н}}$ и $Z_{\text{к}}$ – соответствующие коэффициенты сжимаемости газа.

Если такие параметры, как геометрический объем дегазлируемого участка, начальное и конечное давления, можно определить по техническим данным самого газопровода, то определение значений коэффициента сжимаемости газа может вызвать определенные трудности. Коэффициент сжимаемости газа является эмпирической величиной и выражает отклонение реальных газов от идеальных [8].

Коэффициент сжимаемости газа можно определить по выражению [9]:

$$Z = 1 - 0,4273 \frac{P}{P_{\text{пк}}} \left(\frac{T}{T_{\text{пк}}} \right)^{-3,668}, \quad (1)$$

где $P_{\text{пк}}$, $T_{\text{пк}}$ – псевдокритические давление, МПа, и температура газа, К.

Достаточно часто коэффициент сжимаемости газа определяют по ГОСТ 30319.2-96 «Газ природный. Методы расчета физических свойств. Определение коэффициента сжимаемости». Расчет производится по неполному компонентному составу по методу NX19, т.к. этот метод применим для газов с плотностью в интервале температур 250-290 К и давлений до 3 МПа. Погрешность расчета коэффициента сжимаемости в этих диапазонах параметров не превышает 0,11 %. Метод NX19 наиболее применим при расчетах газораспределительных систем. Расчет производится для начального давления и средней температуры газа по длине газопровода-отвода, и учитывает молярные доли диоксида углерода и азота. Расчетные формулы представляют собой достаточно сложный математический комплекс со многими переменными и предназначены для вычислений с помощью программ ЭВМ.

Эксплуатирующие организации, осуществляющие ремонт газовых сетей и ликвидации аварий, как правило, не обладают специальными программами, так как дегазация газопроводов не входит в перечень ежедневных работ. Поэтому применение специальных компьютерных программ становится невозможным.

Для быстрого определения коэффициента сжимаемости в магистральных газопроводах разработана специальная номограмма, позволяющая при известных исходных данных (давлении, температуре и плотности газа в газопроводе) достаточно просто определять коэффициент сжимаемости газа (рис. 1) [10].

Номограмма рассчитана на газопроводы давлением до 6,0 МПа, плотности газа от 0,55 до 0,80 кг/м³ и температуру эксплуатации от минус 10

°С до плюс 70 °С. Выбранные диапазоны исходных параметров вызывают некоторые вопросы, так как в настоящее время магистральные газопроводы работают при других параметрах.

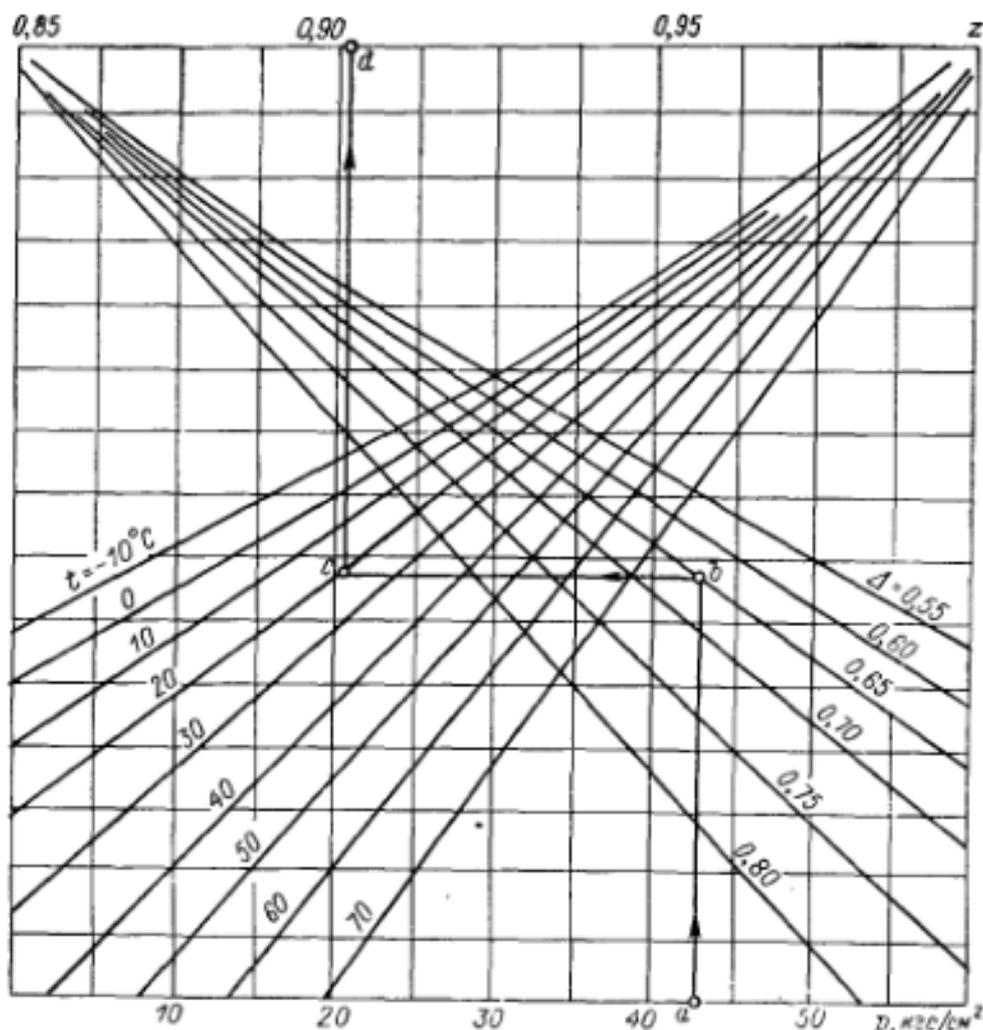


Рис. 1. – Номограмма для определения коэффициента сжимаемости Z

Номограмма (рис. 1) практически не применима для газораспределительных сетей, максимальное давление для которых составляет 1,2 МПа (12 кгс/см²). При давлении от 3 кПа до 1,2 МПа практически невозможно определить коэффициент сжимаемости газа. Представляется целесообразным определить коэффициент сжимаемости газа для газопроводов давлением до 1,2 МПа со значениями температуры и плотности газа, соответствующими условиям эксплуатации.

Построение номограммы основано на выражении (1). При этом для плотности и температуры взяты дискретные величины. Для давления определение коэффициента сжимаемости вычисляется по двум значениям: 0,1 МПа (абс.) и 1,3 МПа (абс.). В этом случае уравнение (1) приобретает вид:

- для $P=0,1$ МПа

$$Z = 1 - \frac{0,04273}{P_{\text{пк}}} \left(\frac{T}{T_{\text{пк}}} \right)^{-3,668},$$

- для $P=1,3$ МПа

$$Z = 1 - \frac{0,05555}{P_{\text{пк}}} \left(\frac{T}{T_{\text{пк}}} \right)^{-3,668},$$

Результаты вычислений графически показаны на рис. 2.

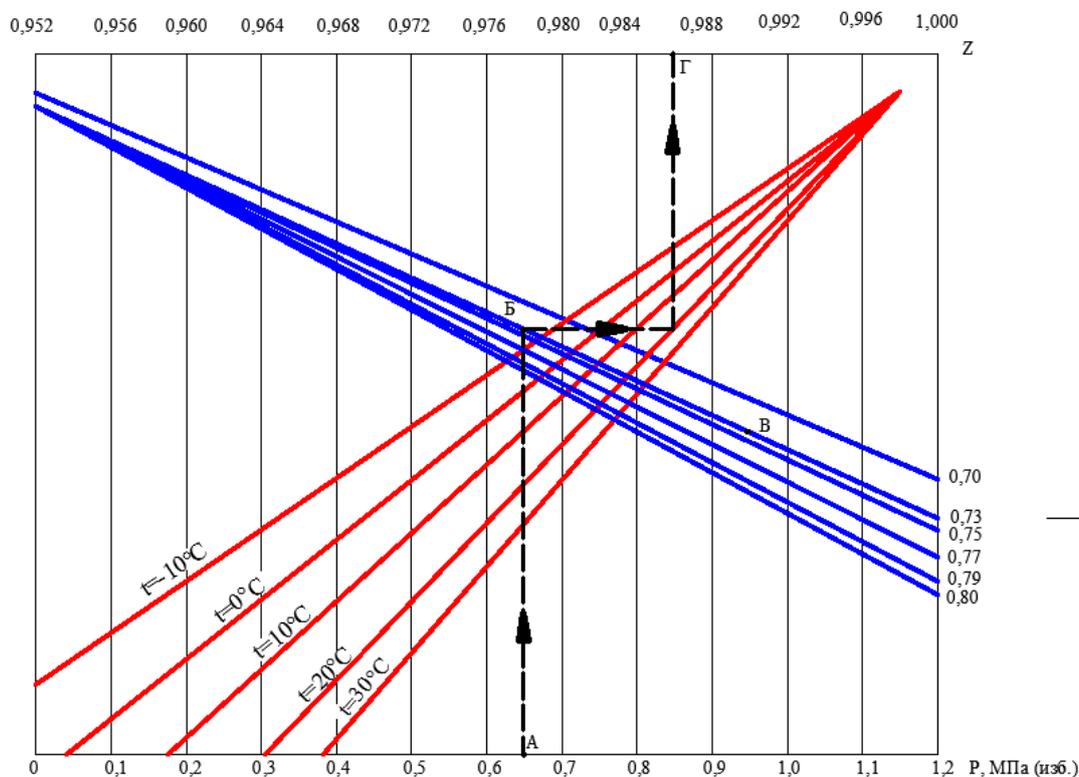


Рис. 2. – Номограмма для определения сжимаемости газа для газопроводов давлением до 1,2 МПа

Номограмма (рис. 2) составлена на диапазон рабочих давлений для сетей газораспределения и газопотребления (от 0 до 1,2 МПа). Изотермы представлены от минус 10 °С до плюс 30 °С, что соответствует температуре эксплуатации как для надземных, так и для подземных газопроводов практически во всех климатических зонах. Значения плотности газа применены на основе анализа плотностей газов различных месторождений. При отсутствии данных о плотности транспортируемого по трубопроводу природного газа, рекомендуется брать общепринятое для инженерных расчетов значение плотности 0,73 кг/м³. Номограмма имеет ключ, с помощью которого при минимальных затратах времени, не обладая специальными знаниями, можно легко определить значение коэффициента сжимаемости. Следует отметить, что для диапазона исходных параметров газа значения коэффициента сжимаемости газа изменяются от 1,00 до 0,952.

Разработанная номограмма может быть использована работниками организаций, эксплуатирующих газораспределительные сети, при определении технологических показателей процесса дегазации участков газопроводов. Кроме того, номограмму можно использовать в учебном процессе для решения практических задач по дисциплинам газового цикла.

Литература

1. Обзор аварий в газовых хозяйствах предприятий. URL: art4soul.ru/ubijstvo/obzor-avarii-v-gazovyh-hozyaistvah-predpriyatii-ch-statistika-avarii-na/.
2. Alaska Pipeline Explosion! Earth Island Journal. 1998. Т. 14. № 1. p. 21. . URL: elibrary.ru/keyword_items.asp?id=1744963&show_option=0.
3. Lamkie A.J., Davis D. Night into Day: The Edison, New Jersey, Gas Pipeline Explosion. Fire Engineering Journal. 1995. Т.148. № 5. pp. 34-42. URL: elibrary.ru/item.asp?id=2367660.

4. Зерщикова М.А. Меры борьбы с негативными экологическими последствиями в Ростовской области // Инженерный вестник Дона, 2010, № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2010/243.
5. Зерщикова М.А. Последствия загрязнения окружающей среды и их влияние на экономические показатели (методы сохранения и улучшения состояния окружающей среды) // Инженерный вестник Дона, 2011, № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2011/326.
6. Деточенко А.В., Михеев А.Л., Волков М.М. Спутник газовика. М.: Недра, 1978. 311 с.
7. Серeda Н.Г., Сахаров В.А., Тимашев А.Н. Спутник нефтяника и газовика: Справочник. М.: Недра, 1986. 325 с.
8. Рябцев Н.И. Природные и искусственные газы. Учебник для техникумов. Изд. 4-е, перераб. и доп.: М., Стройиздат, 1978. 264 с.
9. Пивовар Л.Н. Расчет времени опорожнения участка газопровода// Нефтяная и газовая промышленность. 1992, № 1. С. 37-40.
10. Справочник по проектированию магистральных газопроводов. Под ред. А.К. Дерцакяна. – Л.: Недра, 1977. 519 с.

References

1. Obzor avarij v gazovy`x hozyajstvax predpriyatij. [Overview of accidents in the gas facilities of enterprises]. URL: art4soul.ru/ubijstvo/obzor-avarii-v-gazovyh-hozyaistvah-predpriyatii-ch-statistika-avarii-na/.
2. Alaska Pipeline Explosion! Earth Island Journal. 1998. T. 14. № 1. p. 21. URL: elibrary.ru/keyword_items.asp?id=1744963&show_option=0.
3. Lamkie A.J., Davis D. Night Into Day: The Edison, New Jersey, Gas Pipeline Explosion. Fire Engineering Journal. 1995. T.148. № 5. p.p. 34-42. URL: elibrary.ru/item.asp?id=2367660.



4. Zershhikova M.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2010, № 3. URL: ivdon.ru ru magazine archive n3y2010 243.
5. Zershhikova M.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2011, № 1. URL: ivdon.ru ru magazine archive n1y2011 326.
6. Detochenko A.V., Mixeev A.L., Volkov M.M. Sputnik gazovika [Gasman's satellite]. M.: Nedra, 1978. 311 p.
7. Sereda N.G., Saxarov V.A., Timashev A.N. Sputnik neftyanika i gazovika [Satellite of an oil and gas worker]. Spravochnik. M.: Nedra, 1986. 325 p.
8. Ryabcev N.I. Prirodný`e i iskusstvennye gazy`. Uchebnik dlya texnikumov. Natural and artificial gases. [Textbook for technical schools]. Izd. 4-e, pererab. i dop.: M., Strojizdat, 1978. 264 p.
9. Pivovar L.N. Neftyanaya i gazovaya promý`shlennost`. 1992, № 1. pp. 37-40.
10. Spravochnik po proektirovaniyu magistral`ny`x gazoprovodov [Handbook for the design of gas pipelines]. Pod red. A.K. Derczakyana. L.: Nedra, 1977. 519 p.