

СОКРАЩЕНИЕ ПОТЕРЬ ГАЗА ПРИ ВЫТЕСНЕНИИ ГАЗОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ ИЗ ПОЛОСТИ ОТРЕМОНТИРОВАННЫХ УЧАСТКОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

УДК 622.691.4

Р.Р. Кантюков, к. т. н., ООО «Газпром трансгаз Казань» (Казань, Республика Татарстан, РФ)

Р.Х. Султангареев, к. т. н., ООО «Газпром трансгаз Казань»

Р.И. Марданшин, ООО «Газпром трансгаз Казань», r-mardanshin@tattg.gazprom.ru

С.В. Крашенинников, к. т. н., ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева» (Самара, РФ)

Объектом исследования служат технологии вытеснения газовой смеси (ГВС) из магистральных газопроводов (МГ) с использованием приборов для контроля состава среды. Целью научно-исследовательской работы является снижение потерь газа при проведении ремонтных работ за счет совершенствования нормативной базы ПАО «Газпром». Данная цель достигается путем разработки СТО «Газпром трансгаз Казань» «Типовая инструкция по вытеснению газовой смеси (воздуха) из полости отремонтированных участков трубопроводов» и методики определения времени полного вытеснения ГВС (воздуха) из внутренней полости отремонтированных участков газопроводов, обеспечивающих снижение потерь газа при заполнении вновь построенных и вводимых в работу после ремонта и реконструкции магистральных трубопроводов. В статье приводится методика расчета времени полного вытеснения ГВС (воздуха) из внутренней полости отремонтированных участков газопроводов при помощи номограмм. Также представлены результаты определения времени вытеснения, полученные расчетным и опытным путем.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: МАГИСТРАЛЬНЫЙ ГАЗОПРОВОД, ПРИРОДНЫЙ ГАЗ, ОГНЕВЫЕ РАБОТЫ, ГАЗОВОЗДУШНАЯ СМЕСЬ, ЛИНЕЙНЫЙ КРАН, ВРЕМЯ ВЫТЕСНЕНИЯ, СОСТАВ, СВЕЧА ПРОДУВОЧНАЯ, ГАЗОАНАЛИЗАТОР, КИСЛОРОД, ОБЪЕМНАЯ ДОЛЯ, УСЛОВНЫЙ ДИАМЕТР, КОЭФФИЦИЕНТ ЗАПАСА.

В связи с ростом потребления природного газа в мире параметры МГ смещаются в направлении больших диаметров и больших расстояний, что определяет высокий уровень инвестиций [1]. В связи с этим заметно возрастает роль обеспечения экономической и безопасной эксплуатации газопровода. Наиболее опасны технологические процессы, допускающие образование ГВС. Известно, что такая смесь становится взрывоопасной, когда содержание природного газа в воздухе достигает 5–15 % [2]. Одним из потенциально опасных является процесс вытеснения ГВС из внутренней полости отремонтированных участков

газопроводов. В то же время особенностью данных технологических процессов являются значительные потери газа, поскольку в большинстве случаев длина отключаемого участка газопровода составляет десятки километров и многократно превышает длину ремонтируемого участка. Кроме того, в результате выполнения операции продувки на 1–2 ч увеличивается период времени простаивания газопровода и наносится вред окружающей среде.

Важность данной проблемы привела к появлению ряда исследований [3–5].

Сократить потери газа можно путем более точного определе-

ния времени вытеснения ГВС. В статье представлен опыт применения набора номограмм для определения указанного времени. Получение такого набора связано с выполнением гидравлического расчета МГ при рабочих параметрах газа, соответствующих режиму продувки. Гидравлический расчет МГ включает расчеты стационарных режимов движения газа в МГ и линии продувочной свечи для различных сочетаний длин газопровода, ремонтного участка, диаметра продувочной свечи.

При разработке методики расчета времени вытеснения ГВС использована методика гидравлического расчета газопроводов [6].

Kantuyukov R.R., Ph.D. in Engineering Science, Gazprom transgaz Kazan LLC (Kazan, the Republic of Tatarstan, RF)

Sultangareev R.Kh., Ph.D. in Engineering Science, Gazprom transgaz Kazan LLC

Mardanshin R.I., Gazprom transgaz Kazan LLC, r-mardanshin@tattg.gazprom.ru

Krashennikov S.V., Ph.D. in Engineering Science, Samara National Research University bearing the name of Academician Sergey Korolev (Samara, RF)

Gas loss reduction while displacing the air-gas mixture from the cavity of repaired sections of main gas pipelines

The subject of research is technology of displacing air-gas mixture (AGM) from main gas pipelines (MGP) using instruments to control the composition of the atmosphere. The purpose of the research is to reduce gas losses during repair work by improving the regulatory framework of Gazprom PJSC. The purpose is achieved by developing a standard for Gazprom transgaz Kazan Company «Typical instructions for displacing the air-gas mixture (air) from the cavity of repaired sections of pipelines» and a method for determining the time of the complete displacement of AGM (air) from the internal cavity of repaired sections of gas pipelines, ensuring a reduction in gas losses when filling newly constructed main pipelines or commissioned ones after repair and reconstruction. The article gives a method for calculating the time of the complete displacement of AGM (air) from the internal cavity of repaired sections of gas pipelines using nomograms. The article also presents the results of the determination of the displacement time obtained by calculation and experiment.

KEY WORDS: MAIN GAS PIPELINE, NATURAL GAS, FIRE WORK, AIR-GAS MIXTURE, PIPELINE VALVE, DISPLACEMENT TIME, COMPOSITION, VENT PIPE, GAS ANALYZER, OXYGENE, VOLUME RATIO, NOMINAL DIAMETER, FACTOR OF SAFETY.

С заданным коэффициентом гидравлического сопротивления линии продувочной свечи определяется расход газа через свечу:

$$G_{CB} = F_{CB} \sqrt{\frac{p_2^2 - p_h^2}{R_{метан} T \left(\xi_{CB} - 2 \ln \frac{p_h}{p_2} \right)}}, \frac{\text{кг}}{\text{с}}, \quad (1)$$

где F_{CB} – площадь поперечного сечения свечи, p_2 – давление газа перед свечой, p_h – атмосферное давление, $R_{метан} = 517 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ – газовая постоянная метана, T – температура газа, ξ_{CB} – гидравлическое сопротивление линии продувочной свечи.

Предварительно значение p_2 принимается средним между p_1 (давлением газа в начале участка МГ) и p_h (атмосферным).

По средней скорости движения газа в МГ находится величина критерия Рейнольдса Re_{cp} и линейный коэффициент сопротивления трения магистрального трубопровода $\lambda_{тр}$.

Определяется возможный в заданных условиях расход газа по МГ:

$$G_{MG} = F_{MG} \sqrt{\frac{p_2^2 - p_h^2}{R_{метан} T \left(\lambda_{тр} \frac{L_{MG}}{D_{MG}} - 2 \ln \frac{p_2}{p_1} \right)}}, \frac{\text{кг}}{\text{с}}, \quad (2)$$

где F_{MG} – площадь поперечного сечения МГ, L_{MG} – длина участка МГ, D_{MG} – условный диаметр МГ.

Сравнивается расход газа по трубопроводу и расход газа через свечу. В случае несовпадения проводится корректировка давления на входе в свечу p_2 , и расчет повторяется до совпадения величин расходов газа через свечу и по магистральному трубопроводу.

Полное время движения газа по трубопроводу (время вытеснения ГВС при положении начала ремонтного участка на входе магистрального трубопровода – $L_p = L_{MG}$) определяется как:

$$t = \frac{L_{MG}}{W_{cp}}, \quad (3)$$

где W_{cp} – средняя скорость движения газа на участке МГ.

Время вытеснения ГВС от начала ремонтного участка можно определить как:

$$t_0 = \frac{L_p}{W_{cp}}. \quad (4)$$

При турбулентном смешении в трубопроводах необходимо дополнительно учитывать время турбулентного смешения:

$$t_{турб} = L_{турб} / W_{cp}, \quad (5)$$

где $L_{турб}$ – путь турбулентного смешения газа по длине трубы.

Тогда время продувки может быть определено по формуле:

$$t = t_0 + t_{турб}. \quad (6)$$

В предложенной методике применяется коэффициент гидравлического сопротивления линии продувочной свечи в зависимости от значения ее условного диаметра.

Значение коэффициента определяется по формуле (7):

$$\xi_{CB} = \xi_{BX} + \xi_{нов} + \xi_{тр CB} \frac{L_{CB}}{D_{CB}}, \quad (7)$$

где ξ_{BX} – коэффициент гидравлических потерь на входном участке линии продувочной свечи, согласно справочным данным может быть принят равным 0,5; $\xi_{нов}$ – коэффициент гидравлических потерь в результате поворота потока газа; $\xi_{тр CB}$ – линейный коэффициент сопротивления трения линии продувочной свечи; L_{CB} – длина линии продувочной свечи (необходимо отметить, что длина линии продувочной свечи для ди-

аметров 50–200 мм принималась равной 23,7 м, а для диаметров свечи 250–400 мм – 60–62 м); $D_{св}$ – условный диаметр линии продувочной свечи.

По представленной схеме расчета были определены коэффициенты гидравлического сопротивления для линии продувочной свечи диаметром 50–400 мм. Диапазон входного давления изменялся от 10 до 49 кПа.

Установлено, что при изменении режима происходит незначительное (в пределах $\pm 2,3\%$) изменение коэффициента гидравлического сопротивления линии продувочной свечи. На рис. 1 представлено изменение коэффициента гидравлического сопротивления линии продувочной свечи условным диаметром 100 мм. На основании проведенных расчетов принято в методике определения времени вытеснения ГВС из МГ использовать постоянные, средние из рассмотренного диапазона входного давления значения коэффициентов гидравлического сопротивления линии продувочной свечи (табл. 1).

На основе приведенной выше методики определения времени вытеснения ГВС из МГ выполнен набор номограмм. Каждая номограмма относится к определенному сочетанию условного диаметра МГ и условного диаметра линии продувочной свечи. Номограммы построены в соответствии с тре-

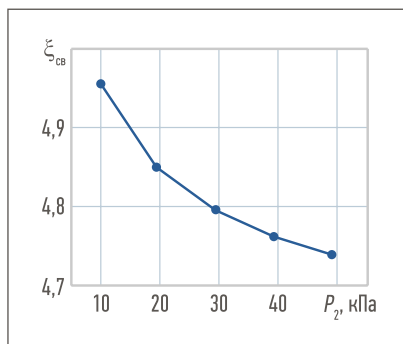


Рис. 1. Изменение коэффициента гидравлического сопротивления линии продувочной свечи условным диаметром 100 мм при изменении входного давления

бованием обеспечения избыточного давления на входе участка МГ, равного 98 кПа (1 кгс/см²). Внешний вид номограммы представлен на рис. 2.

Номограмма учитывает следующие параметры:

- условный диаметр МГ;
- условный диаметр линии продувочной свечи;
- длину участка газопровода;
- отношение расстояния от начала ремонтного участка до продувочной свечи к длине участка МГ.

На рис. 2 показано (штриховая линия), что для трубопровода условным диаметром 100 мм и свечи условным диаметром 50 мм при отношении расстояния от начала ремонтного участка до свечи к длине МГ, равном 0,75, и длине участка газопровода 20 км

время продувки будет составлять 38 мин.

Время полного вытеснения ГВС определяется по формуле:

$$\tau_{\text{выт}} = k_{\text{зап}} \cdot \tau_{\text{ном}}, \text{ мин}, \quad (8)$$

где $k_{\text{зап}} = 1,2 \div 1,3$ – коэффициент запаса; $\tau_{\text{ном}}$ – время вытеснения по номограмме, мин.

Меньшие значения коэффициента запаса рекомендуются для расчета для газопроводов со сроком эксплуатации до двух лет, при больших сроках эксплуатации следует принимать $k_{\text{зап}} = 1,3$.

В целях проверки применимости номограмм специалистами ООО «Газпром трансгаз Казань» были проведены натурные измерения времени вытеснения ГВС (воздуха) из внутренней полости отремонтированных участков газопроводов с применением газоанализаторов содержания кислорода (рис. 3). Вытеснение ГВС производилось природным газом под давлением не более 98 кПа (1 кгс/см²) в месте подачи. Вытеснение считалось законченным, если содержание кислорода в выходящей ГВС не превышало 1% (по объему).

В табл. 2 приведены фактическое время полного вытеснения ГВС, а также расчетные значения, полученные по действующей нормативной методике [7] и по методике, представленной в данной статье. Заметно, что расчет по

Таблица 1. Значения коэффициентов гидравлического сопротивления линии продувочной свечи

Условный диаметр линии продувочной свечи $D_{св}$, мм	Коэффициент гидравлического сопротивления линии продувочной свечи $\xi_{св}$
50	9,851
100	4,748
150	3,264
200	2,58
250	4,093
300	3,51
350	3,109
400	2,816

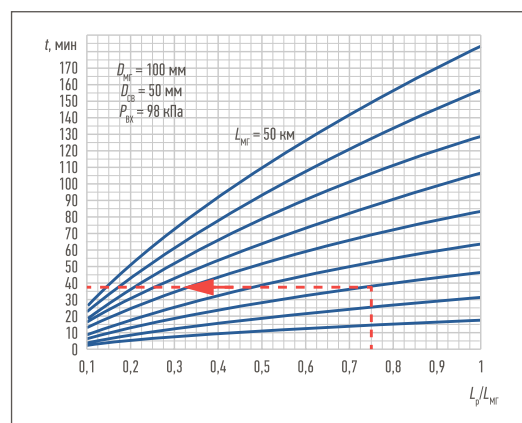


Рис. 2. Номограмма определения времени вытеснения ГВС из МГ

Таблица 2. Определение времени полного вытеснения ГВС из участка МГ после окончания огневых работ

Участок МГ	Время полного вытеснения ГВС, мин		
	Нормативное	Расчетное ($k_{\text{зан}} = 1,3$)	Фактическое
МГ отвод к н.п., ст. Шемурша, крановый узел № 17 Апастовской ЛЭС	45	33	25
МГ «Миннибаево – Казань», крановый узел № 155, Константиновское ЛПУ	76	44	38
МГ «Пермь – Горький – 2», крановый узел № 440	64	34	20



Рис. 3. Внешний вид объекта испытаний

разработанной методике, с одной стороны, значительно ближе к результатам натурного эксперимента, с другой – дает достаточный запас времени для обеспечения безопасности процесса продувки.

По результатам проведенной научно-исследовательской работы специалистами ООО «Газпром трансгаз Казань» и научными со-

трудниками ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (ФГБОУ ВО «КНИТУ») разработан и введен в действие нормативно-технический документ (НТД) СТО ГТК 100-02.10.7-94-2016 «Типовая инструкция по вытеснению газозвдушной смеси (воздуха) из полости отремонтированных

участков трубопроводов». Также проведены испытания приборов для контроля выхода природного газа на газопроводе (газоанализаторов) и выбраны оптимальные модели при проведении огневых работ.

Использование разработанного НТД с набором номограмм в ООО «Газпром трансгаз Казань» позволило получить следующие результаты:

- повысились надежность и безопасность при вводе в эксплуатацию вновь построенных и отремонтированных участков ЛЧМГ;
- был снижен риск возникновения аварийных ситуаций при заполнении газопровода природным газом;
- существенно сократились время и потери газа при продувке газопроводов после ремонта. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Кантюков Р.Р., Тамеев И.М., Злобин А.В. Инновационные решения ООО «Газпром трансгаз Казань» в области магистральных газопроводов // Труды XV Международного симпозиума «Энергоресурсоэффективность и энергосбережение». 2015. С. 106-108.
2. Пирогов С.Ю., Акулов Л.А., Ведерников М.В. и др. Природный газ: Справочник / Под общ. ред. М.М. Пенькова. М.: НПО «Профессионал», 2006. 848 с.
3. Кантюков Р.Р., Тахавиев М.С., Гилязиев М.Г. и др. Разработка математической модели участка газотранспортной системы // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2015. № 2. С. 3-7.
4. Шарифуллин В.Н., Кантюков Р.А., Мешалкин В.П. Анализ взрывоопасности процесса продувки газопровода // Газовая промышленность. 2015. Спецвып. № 720: Надежность и ремонт объектов ГТС. С. 34-36.
5. Лурье М.В., Некляев А.В. Об одном опасном явлении, сопровождающем истечение газа из газопровода // Газовая промышленность. 2008. № 1. С. 96.
6. Комина Г.П., Прошутинский А.О. Гидравлический расчет и проектирование газопроводов: Учеб. пособие. СПб.: СПбГАСУ, 2010. 148 с.
7. СТО Газпром 3.3-2-024-2011. Методика нормирования расхода природного газа на собственные технологические нужды и технологические потери магистрального транспорта газа. М.: ОАО «Триада, ЛТД», 2011. 68 с.

REFERENCES

1. Kanyukov R.R., Tameev I.M., Zlobin A.V. Innovative Solutions of Gazprom transgaz Kazan LLC in the Field of Main Gas Pipelines. Proceedings of the 15th International Symposium «Energy Resource Efficiency and Energy Saving», 2015, P. 106-108. (In Russian)
2. Pirogov S.Yu., Akulov L.A., Vedernikov M.V. Natural Gas: Reference Book. Ed. by M.M. Penkov. Moscow, Scientific and Production Society «Professional», 2006, 848 pp. (In Russian)
3. Kanyukov R.R., Takhaviyev M.S., Gilyaziev M.G., et al. Development of a Mathematical Model of a Section of the Gas Transportation System. Transport i khraneniye nefteproduktov i uglevodородного сырия = Transport and Storage of Oil Products and Hydrocarbon Raw Materials, 2015, No. 2, P. 3-7. (In Russian)
4. Sharifullin V.N., Kanyukov R.A., Meshalkin V.P. Explosion Analysis of Gas Pipeline Purge Processes. Gazovaya promyshlennost' = Gas Industry, 2015, Special issue No. 720: Reliability and Repair of Gas Transportation Facilities, P. 34-36. (In Russian)
5. Lurie M.V., Neklyayev A.V. On a Dangerous Phenomenon Accompanying the Outflow of Gas from the Gas Pipeline. Gazovaya promyshlennost' = Gas Industry, 2008, No. 1, P. 96. (In Russian)
6. Komina G.P., Proshutinsky A.O. Hydraulic Calculation and Design of Gas Pipelines: Student's Book. St. Petersburg, SPSUACE, 2010, 148 pp. (In Russian)
7. Company Standard Gazprom 3.3-2-024-2011. Method of Natural Gas Consumption Regulation for Own Technological Needs and In-Process Losses of Main Gas Transportation. Moscow, Triada LTD OJSC, 2011, 68 pp. (In Russian)