

Проектирование, сооружение и эксплуатация систем трубопроводного транспорта

Designing, construction and operation of pipeline transport system

2.8.5. Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ
(технические науки)

УДК 622.692.4.076:662.998

DOI: 10.31660/0445-0108-2023-4-63-74

Разработка технологии каскадного понижения давления газа в протяженных газопроводах-отводах газораспределительных станций

В. М. Янчук¹, А. С. Кузьбожев^{2*}, И. В. Шишкин², И. Н. Бирилло²,
П. А. Кузьбожев²

¹ООО «Газпром трансгаз Ухта», Ухта, Россия

²ООО «Газпром ВНИИГАЗ», филиал в г. Ухте, Россия

*a.kuzbozhev@sng.vniigaz.gazprom.ru

Аннотация. Разработана и предложена к реализации энергосберегающая технология трубопроводной транспортировки природного газа по газопроводам-отводам большой протяженности, связывающим магистральные газопроводы и газораспределительные станции. Принцип технологии заключается в ступенчатом понижении рабочего давления в газопровод-отводе с помощью линейных редуцирующих пунктов, с частичным нагревом газа за счет теплообмена между газопроводом и грунтом. Представлены результаты практической апробации технологии каскадного понижения давления газа в действующем газопровод-отводе с подтвержденным эффектом уменьшения расхода топливного газа в подогревателях газораспределительной станции. Расчетным методом определены оптимальные параметры ступенчатого понижения давления газа с помощью линейных пунктов редуцирования. Получены графические зависимости, определяющие особенности изменения температурных режимов трубопроводной транспортировки газа в зависимости от задаваемого перепада давления в линейных пунктах редуцирования для условий опытно-промышленной апробации метода энергосбережения. Предложена схема равномерного размещения линейных редуцирующих пунктов с определением оптимального режима снижения давления.

Ключевые слова: газопровод, давление, температура, охлаждение, теплообмен, редуцирование

Для цитирования: Разработка технологии каскадного понижения давления газа в протяженных газопроводах-отводах газораспределительных станций / В. М. Янчук, А. С. Кузьбожев, И. В. Шишкин [и др.]. – DOI 10.31660/0445-0108-2023-4-63-74 // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2023. – № 4. – С. 63–74.

Development of technology for cascade gas pressure reduction in long gas pipelines of gas distribution stations

**Vitaly M. Yanchuk¹, Alexander S. Kuzbozhev^{2*}, Ivan V. Shishkin²,
Igor N. Birillo², Pavel A. Kuzbozhev²**

¹*Gazprom transgaz Ukhta LLC, Ukhta, Russia*

²*Branch office of Gazprom VNIIGAZ LLC in Ukhta, Russia*

**a.kuzbozhev@sng.vniigaz.gazprom.ru*

Abstract. The work developed and proposed for implementation an energy-saving technology of pipeline transportation of natural gas along long-distance branch pipelines connecting main gas pipelines and gas distribution stations. This technology consists in a step reduction of operating pressure in the gas pipeline branch with the help of linear reducing stations, with partial heating of gas due to heat exchange between the gas pipeline and the ground. The authors of the article present the results of practical approbation of the cascade gas pressure reduction technology in the operating off-take gas pipeline with the confirmed effect of reducing fuel gas consumption in the gas distribution station preheaters. The optimal parameters of gradual gas pressure reduction using linear reduction points were determined by calculation. Graphical dependencies, which determine the peculiarities of changes in temperature modes of pipeline gas transportation depending on the given pressure drop in linear pressure reduction stations for the conditions of pilot testing of the energy-saving method, have been obtained. A scheme of uniform location of linear pressure reduction stations with definition of the optimal pressure reduction mode is proposed.

Keywords: gas line, pressure, temperature, cooling, heat exchange, reduction

For citation: Yanchuk, V. M., Kuzbozhev, A. S., Shishkin, I. V., Birillo, I. N., & Kuzbozhev, P. A. (2023). Development of technology for cascade gas pressure reduction in long gas pipelines of gas distribution stations. *Oil and Gas Studies*, (4), pp. 63-74. (In Russian). DOI: 10.31660/0445-0108-2023-4-63-74

Введение

Подключение газораспределительных станций (ГРС) к магистральным газопроводам выполняется с помощью подземных газопроводов-отводов высокого давления, в некоторых случаях имеющих значительную протяженность, транспортировка газа по которым сопровождается значительными тепловыми потерями, обусловленными естественным теплообменом между трубопроводами и грунтом. При реализации основного технологического процесса ГРС (редуцирования) происходит уменьшение давления и сопутствующее снижение температуры газа, величина которой нормируется и не может быть меньше заданного значения. Для предотвращения переохлаждения газа в процессе редуцирования выполняется его предварительный подогрев [1], при этом чем выше степень естественного охлаждения газа в газопроводе-отводе и больше перепад давления при редуцировании, тем больший объем тепловой энергии следует подвести к газу на ГРС. Компенсация повышенных тепловых потерь за счет теплоотвода от газопровода в грунт требует использования дополнительных объемов топливного газа, что, кроме повышения затрат на топливный газ, способствует росту объемов вредных выбросов, а также увеличенной загрузке подогревателей.

Особенности изменения температуры газа, транспортируемого по газопроводу-отводу, соединяющему магистральный газопровод и газорас-

пределительную станцию, показаны на рисунке 1. В процессе трубопроводной транспортировки по газопроводу-отводу газ, имеющий начальную температуру 20 °С, охлаждается до температуры грунта, составляющей 2 °С. На ГРС давление газа уменьшают от 5,1 до 0,6 МПа, в результате, без предварительного подогрева газа, его температура на выходе ГРС составит примерно –22 °С.

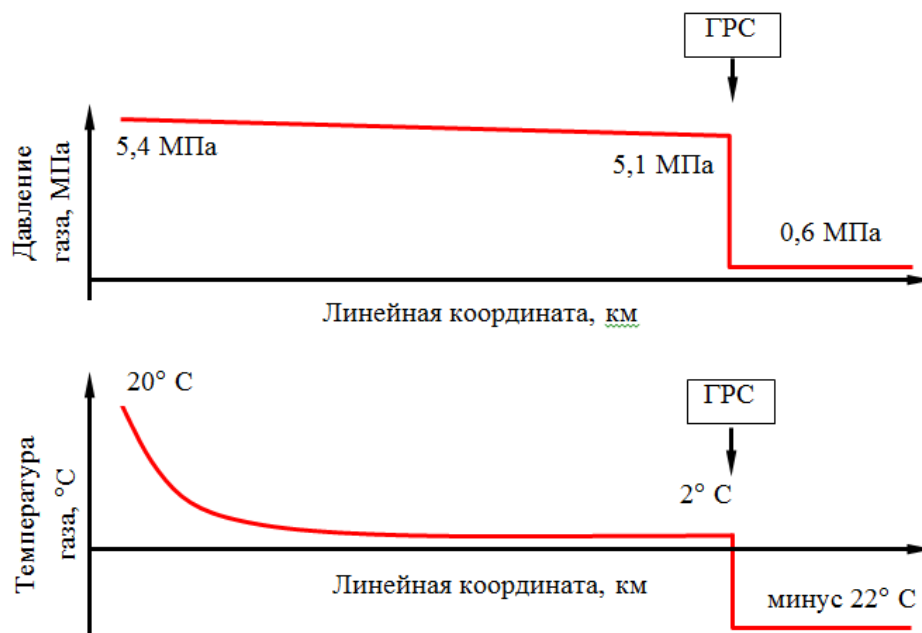


Рис. 1. Изменение термобарических параметров газа при транспортировке по газопроводу-отводу

Для уменьшения тепловых потерь, обусловленных отводом тепла от газопровода в грунт, может быть использована технология каскадного понижения давления в газопровод-отводе с помощью линейных регуляторов, расположенных в определенном порядке, в зависимости от протяженности трассы газопровода-отвода, грунтовых условий на глубине заложения газопровода, интенсивности процессов сезонного промерзания и оттаивания грунта. Уменьшение расхода топливного газа при редуцировании будет обеспечено за счет реализации следующих ключевых принципов:

- уменьшение величины перепада давления при редуцировании на ГРС;
- снижение давления газа в точке его отбора из магистрального газопровода на входе в газопровод-отвод до температуры, меньшей чем температура грунта, с последующим нагревом за счет естественного теплообмена между газопроводом-отводом и окружающей средой, с промежуточным редуцированием в линейных регуляторах.

Объект и методы исследования

В качестве объекта исследований выступает подземный газопровод-отвод протяженностью 100 км, диаметром 700 мм, оснащенный двумя линейными узлами редуцирования, один из которых размещен на 0 км газопровода-отвода (в точке подключения к магистральному газопроводу), второй — на 80 км трассы. Температура газа на входе в первый линейный узел редуцирования газопровода-отвода составляет ≈ 20 °С, давление газа — 5,4 или 7,5 МПа. Глубина заложения газопровода-отвода по уровню верхней образующей составляет 1 м. Температура грунта на глубине заложения газопровода-отвода в завершении зимнего периода составляет от 1,5 до 2 °С. Расход газа, приведенный к нормальным условиям, составляет 150 000 м³/ч. Условия и режимы эксплуатации газопровода-отвода соответствуют фактическому объекту — газопроводу-отводу к ГРС г. Сыктывкара (Республика Коми). Первый линейный узел редуцирования предусмотрен проектом на сооружение газопровода-отвода с целью обеспечения возможности отбора газа из проложенных в одном технологическом коридоре магистральных газопроводов, работающих при рабочем давлении 5,4 и 7,5 МПа. Второй линейный узел редуцирования смонтирован с целью опытно-промышленной апробации технологии каскадного понижения давления. Линейные узлы редуцирования оснащены объединенными в группы стандартными клапанами-регуляторами, используемыми на ГРС.

Исследования включают расчетное моделирование процесса транспортировки газа по подземному газопроводу-отводу и выполнены с использованием аналитических выражений в составе известных расчетных методик [2].

Температура природного газа на выходе линейного узла редуцирования (T_2) определяется по выражению [3]

$$T_2 = T_1 - (P_1 - P_2) \cdot D_i, \quad (1)$$

где T_1 , P_1 — соответственно, температура (К) и давление (МПа) газа на входе в линейный узел редуцирования или узел редуцирования на ГРС; P_2 — давление газа на выходе клапана-регулятора линейного узла редуцирования или узла редуцирования ГРС, Па; D_i — коэффициент Джоуля — Томсона для природного газа, К/МПа.

Количество тепловой энергии, необходимой для нагрева суточного объема поставляемого ГРС газа, составляет [4]

$$Q = C_p \cdot m \cdot (T_1 - T_2), \quad (2)$$

где m — масса газа, подаваемого ГРС за сутки, кг; T_1 — температура газа на выходе ГРС, °С; T_2 — температура газа на выходе узла редуцирования ГРС (без предварительного подогрева), °С; C_p — средняя изобарная теплоемкость транспортируемого природного газа, Дж/(кг · °С).

Расход топливного газа (в м³) на ГРС определяется по выражению

$$q_T = \frac{Q}{\eta \cdot g}, \quad (3)$$

где η — коэффициент полезного действия подогревателя газа на ГРС в относительных единицах; g — минимальная теплотворная способность природного газа, Дж/м³.

Схема газопровода-отвода с линейными узлами редуцирования показана на рисунках 2 и 3.

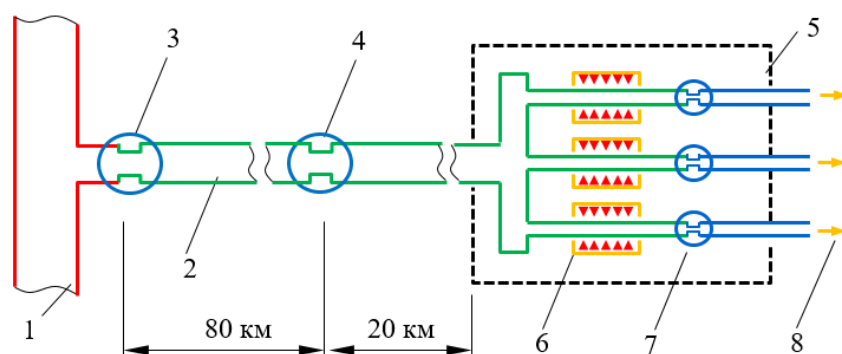


Рис. 2. *Схема газопровода-отвода, соединяющего магистральный газопровод и ГРС, оснащенного двумя линейными узлами редуцирования:*
 1 — магистральный газопровод высокого давления; 2 — газопровод-отвод;
 3 — линейный узел редуцирования на входе в газопровод-отвод;
 4 — промежуточный узел редуцирования; 5 — ГРС; 6 — подогреватели ГРС;
 7 — клапаны-регуляторы ГРС; 8 — газ низкого давления

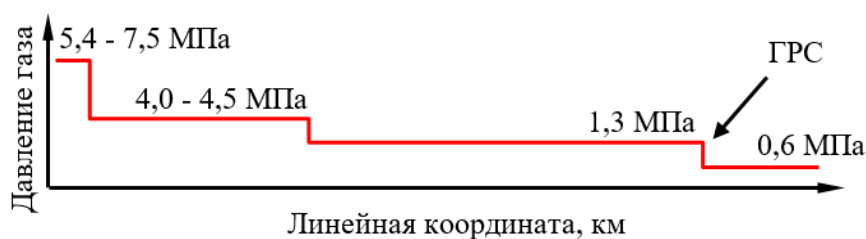


Рис. 3. *График изменения давления в газопровode-отводе*

Результаты

В ходе проведения работ по опытно-промышленной апробации метода каскадного понижения давления опробованы два режима работы газопровода-отвода.

1. С подачей газа от магистрального газопровода, работающего при давлении 5,4 МПа. При данном режиме параметры работы системы составили:

- давление и температура на выходе первого линейного узла редуцирования, соответственно, 4,2 МПа и 6,5 °С;
- давление и температура на входе во второй узел редуцирования, соответственно, 3,6 МПа и 1,9 °С;
- давление и температура на выходе второго линейного узла редуцирования, соответственно, 1,3 МПа и –7,8 °С;
- давление и температура на входе в ГРС, соответственно, 1,3 МПа и 1,8 °С.

2. С подачей газа от магистрального газопровода, работающего при давлении 7,5 МПа. При данном режиме параметры работы системы составили:

- давление и температура на выходе первого линейного узла редуцирования, соответственно, 4,5 МПа и 11,6 °С;
- давление и температура на входе во второй линейный узел редуцирования, соответственно, 4,0 МПа и 1,9 °С;
- давление и температура на выходе второго линейного узла редуцирования, соответственно, 1,3 МПа и –7,5 °С;
- давление и температура на входе в ГРС, соответственно, 1,3 МПа и 1,8 °С.

При снижении давления в первом линейном узле редуцирования с 5,4 МПа (7,5 МПа) до 4,0–4,5 МПа, за счет эффекта дросселирования, температура газа уменьшалась с 20 до 6,5–11,6 °С. Далее газ охлаждался за счет теплообмена с грунтом и адиабатического расширения, в результате чего его температура на входе во второй линейный узел редуцирования достигала 1,8 °С. При снижении давления газа во втором линейном узле редуцирования до 1,3 МПа его температура составляла –7,5 °С, после чего следовал нагрев за счет теплового взаимодействия с грунтом. Температура газа на входе в ГРС соответствовала температуре грунта. Описываемый режим работы газопровода-отвода был признан неоптимальным по причине значительного охлаждения газа на выходе второго линейного узла редуцирования, что способствовало развитию отказов применяемого регулирующего оборудования.

Допустимый уровень охлаждения газа на выходе линейных узлов редуцирования определен по результатам анализа требований к температурным режимам транспортировки газа по газопроводам. В соответствии с требованиями СП 36.13330.2012¹, температура газа, поступающего в газопровод, должна устанавливаться исходя из возможности транспортировки

¹СП 36.13330.2012. Свод правил. Магистральные трубопроводы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.06-85. – Введ. 2013-07-01. – М., 2012. – 99 с.

продукта и требований, предъявляемых к сохранности изоляционных покрытий, прочности, устойчивости и надежности газопровода.

В соответствии с требованиями СТО Газпром 2-2.3-1122-2017² определены следующие требования к температурным режимам газа, направляемого от ГРС потребителям:

- температура газа должна поддерживаться в соответствии с ГОСТ 5542-2014³ (минимально допустимая температура газа в месте отбора пробы не может быть ниже температуры точки росы по воде и углеводородам);
- температура газа на выходе ГРС должна быть не ниже $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (на пучинистых грунтах — не ниже $0\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Таблица 1

**Физико-химические показатели газа горючего природного,
поставляемого и транспортируемого по магистральным газопроводам
(в соответствии с СТО Газпром 089-2010)**

Наименование показателя	Значение для макроклиматических районов	
	умеренный	холодный
Температура точки росы по воде при абсолютном давлении 3,92 МПа ($40,0\text{ кгс/см}^2$), $^{\circ}\text{C}$, не выше: – зимний период; – летний период	$-10,0$ $-10,0$	$-20,0$ $-14,0$
Температура точки росы по углеводородам при абсолютном давлении от 2,5 до 7,5 МПа, $^{\circ}\text{C}$, не выше: – зимний период; – летний период	$-2,0$ $-2,0$	$-10,0$ $-5,0$

В соответствии с СТО Газпром 089-2010⁴ допускаемая температура точки росы природного газа (по воде и углеводородам) определяется в зависимости от климатических характеристик региона, в пределах которого осуществляется транспорт или газораспределение (табл. 1):

²СТО Газпром 2-2.3-1122-2017. Газораспределительные станции. Правила эксплуатации. – Введ. 2017-09-15. – СПб.: Газпром экспо, 2018. – 204 с.

³ГОСТ 5542-2014. Газы горючие природные промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия. – Введ. 2015-07-01. – М.: Стандартинформ, 2015. – 12 с.

⁴СТО Газпром 089-2010. Газ горючий природный, поставляемый и транспортируемый по магистральным газопроводам. Технические условия. – Введ. 2011-08-08. – М., 2010. – 19 с.

- по углеводородам, при давлении транспортируемого газа от 2,5 до 7,5 МПа, для регионов с холодным и умеренным климатом (в зимний период), температура точки росы газа не может быть ниже, соответственно, -20 и -10 °С;

- по воде, при давлении газа от 3,92 МПа, для регионов с холодным и умеренным климатом (в зимний период), температура точки росы газа не может быть ниже, соответственно, -10 и -2 °С.

На основании анализа приведенных выше документов определены следующие требования к температуре газа при реализации технологии каскадного понижения давления:

- при транспортировке газа к ГРС по газопроводам-отводам, проложенным на пучинистых грунтах, температура газа не может быть ниже 0 °С;

- в том случае, если грунты на трассе газопровода непучинистые, минимальная температура соответствует температуре точки росы (по воде или углеводородам).

Несоблюдение температурных режимов транспортировки газа приведет к следующим последствиям [5]:

- ограничению пропускной способности газопроводов (частичное или полное перекрытие труб выпадающими кристаллогидратами);

- повреждаемости оборудования (ограничение функциональных свойств, разрушение);

- нарушению теплового режима грунта, взаимодействующего с подземным газопроводом.

Для снижения повреждаемости регулирующего оборудования, обусловленной его интенсивным охлаждением, в качестве средства регулирования давления могут быть использованы клапаны-регуляторы со встроенным узлом нагрева, работающим на принципе вихревого разделения высокоскоростного потока газа на «горячую» и «холодную» часть.

Снижение интенсивности охлаждения газа может быть достигнуто за счет увеличения разности давлений на входе и выходе первого линейного узла редуцирования. При снижении давления газа в первом линейном узле редуцирования до 2,5 МПа его температура составит $1,0$ – $2,0$ °С по всему участку газопровода-отвода между первым и вторым линейными узлами редуцирования. При снижении давления во втором линейном узле редуцирования до 1,6 МПа температура газа снизится до минус $1,0$ – минус $1,5$ °С. На входе в ГРС температура газа достигнет стабильно положительных значений. При этом указанный температурный режим менее критичен в части развития негативных процессов, проявляющихся при трубопроводной транспортировке охлажденных газообразных сред. Результаты расчета температурного режима газа на выходе второго линейного узла редуцирования в зависимости от разности давлений на его входе и выходе показаны на рисунке 4.

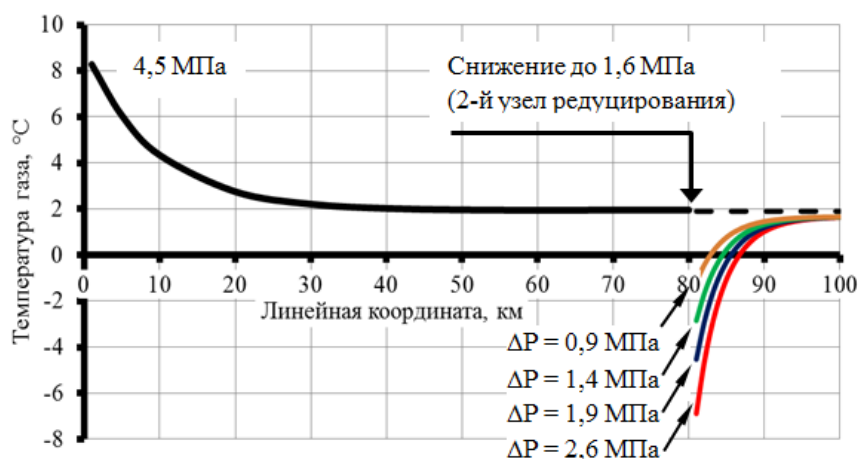


Рис. 4. Расчетный температурный режим газа, транспортируемого по газопроводу-отводу к ГРС в режиме каскадного двухступенчатого понижения давления (ΔP — разность давлений на входе и выходе второго линейного узла редуцирования)

В ходе оценки экономии топливного газа, расходуемого подогревателями ГРС при реализации технологии каскадного понижения давления, рассматривались следующие варианты организации работы ГРС:

- давление и температура газа на выходе ГРС, соответственно, 0,6 МПа и 2 °С, расход газа (приведенный к нормальным условиям) — 150 000 м³/ч;
- давление на входе в ГРС — 4,5; 3,5; 3,0 и 2,5 МПа, температура газа — 2 °С.

Результаты расчетной оценки расхода топливного газа в подогревателях ГРС приведены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты расчетной оценки расхода топливного газа в подогревателях ГРС

Давление на входе в ГРС, МПа	Температура газа после редуцирования на ГРС (без подогрева), °С	Расход тепловой энергии для подогрева газа перед редуцированием на ГРС, ГДж	Расход топливного газа в подогревателях ГРС, м ³ /сут
4,5	–15,3	92	2 532,1
3,5	–11,4	71	1 964,22
3,0	–9,5	61	1 688,30
2,5	–7,6	54	1 405,80

В результате расчета установлено, что экономия топливного газа в сутки при реализации технологии каскадного понижения давления газа в газопроводе-отводе составит:

- 1 126,3 м³ при давлении газа на входе в ГРС 2,5 МПа;
- 847,8 м³ при давлении газа на входе в ГРС 3,0 МПа;
- 567,9 м³ при давлении газа на входе в ГРС 3,5 МПа.

В результате проведенной опытно-промышленной апробации была подтверждена эффективность технологии каскадного снижения газопровода в газопроводе-отводе. Внедрение подобной системы позволит снизить расход топливного газа в подогревателях ГРС или, в некоторых случаях (в условиях пониженного потребления газа), исключить подогрев газа из технологического цикла ГРС.

Перспективная схема организации каскадного понижения давления в газопроводах-отводах показана на рисунке 5.

Газопровод-отвод содержит равномерно распределенные линейные пункты редуцирования, в каждом из которых происходит понижение давления газа по условию его сопутствующего охлаждения, например, до температуры 0,1 °С. Далее, после редуцирования в линейных пунктах, газ нагревается за счет теплообмена с грунтом.

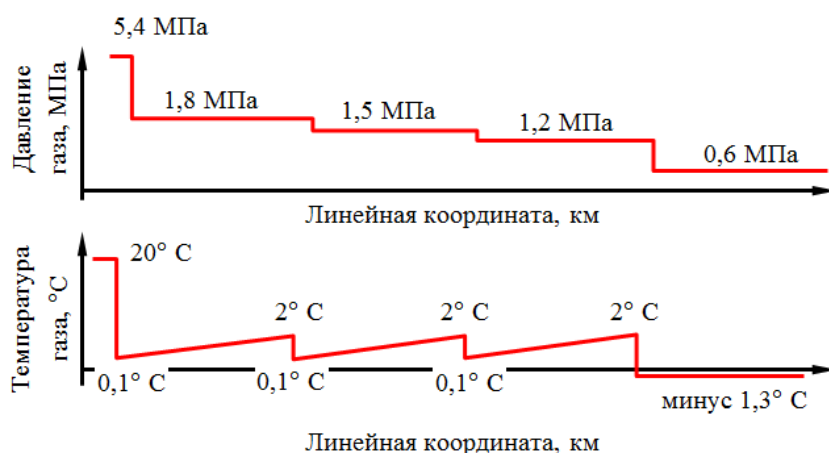


Рис. 5. Графики изменения давления и температуры газа в газопроводе-отводе при реализации технологии ступенчатого понижения давления газа

Выводы

В работе предложен и опробован в качестве энергосберегающей технологии метод каскадного регулирования давления в газопроводах-отводах ГРС. Расчетно-экспериментальная отработка метода и его практическая реализация выполнены на газопроводе-отводе к ГРС г. Сыктывкара. В результате снижения давления в газопроводе-отводе за счет меньшего перепада давления на входе и выходе ГРС охлаждение газа происходило с

меньшей интенсивностью, что позволило снизить затраты тепловой энергии на его предварительный подогрев.

Список источников

1. Данилов, А. А. Газораспределительные станции / А. А. Данилов, А. И. Петров. – Санкт-Петербург : Недра, 1997. – 240 с. – Текст : непосредственный.
2. Эксплуатация магистральных газопроводов : учебное пособие / Под редакцией Ю. Д. Земенкова. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2002. – 525 с. – Текст : непосредственный.
3. Поршаков, Б. П. Термодинамика и теплопередача (в технологических процессах нефтяной и газовой промышленности) : учебник для вузов / Б. П. Поршаков, Р. Н. Бикчентай, Б. А. Романов. – Москва : Недра, 1987. – 352 с. – Текст : непосредственный.
4. Гажур, А. А. Термодинамика : учебное пособие / А. А. Гажур, Б. Н. Васичев. – Москва : РЭУ им. Г. В. Плеханова, 2013. – 263 с. – Текст : непосредственный.
5. Капыш, В. В. Предупреждение гидратообразования в газопроводах-отводах и на газораспределительных станциях / В. В. Капыш, Н. В. Кулемин, В. А. Истомин. – Текст : непосредственный // Вести газовой науки. – 2013. – № 4. – С. 125–131.

References

1. Danilov, A. A., & Petrov, A. I. (1997). Gazoraspredelitel'nye stantsii. St. Petersburg, Nedra Publ., 240 p. (In Russian).
2. Zemenkov, Yu. D. (2002). Ekspluatatsiya magistral'nykh gazoprovodov. Tyumen, Tyumen State Oil and Gas University Publ., 525 p. (In Russian).
3. Porshakov, B. P., Bikchentay, R. N. & Romanov, B. A. (1987). Termodinamika i teploperedacha (v tekhnologicheskikh protsessakh neftyanoy i gazovoy promyshlennosti). Moscow, Nedra Publ., 352 p. (In Russian).
4. Gazhur, A. A., & Vasichev, B. N. (2013). Termodinamika. Moscow, Russian University of Economics named after G.V. Plekhanov Publ., 263 p. (In Russian).
5. Kapysh, V. V., Kulemin, N. V., & Istomin, V. A. (2013). Preduprezhdenie gidratoobrazovaniya v gazoprovodakh-otvodakh i na gazoraspredelitel'nykh stantsiyakh. Vesti gazovoy nauki, (4), pp. 125-131. (In Russian).

Информация об авторах

Янчук Виталий Михайлович,
начальник производственного отдела
по эксплуатации ГРС, ООО «Газпром
трансгаз Ухта», г. Ухта

Information about the authors

Vitaly M. Yanchuk, Head of the
Production Department for Operation of
Gas Distribution Stations, Gazprom
transgaz Ukhta LLC

Кузьбожев Александр Сергеевич, доктор технических наук, начальник отдела надежности и ресурса Северного коридора газотранспортной системы, ООО «Газпром ВНИИГАЗ», филиал в г. Ухта, a.kuzbozhev@sng.vniigaz.gazprom.ru

Шишкин Иван Владимирович, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории надежности объектов газотранспортной системы отдела надежности и ресурса Северного коридора газотранспортной системы, ООО «Газпром ВНИИГАЗ», филиал в г. Ухта

Бирилло Игорь Николаевич, кандидат технических наук, начальник лаборатории надежности объектов газотранспортной системы отдела надежности и ресурса Северного коридора газотранспортной системы, ООО «Газпром ВНИИГАЗ», филиал в г. Ухта

Кузьбожев Павел Александрович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории надежности объектов газотранспортной системы отдела надежности и ресурса Северного коридора газотранспортной системы, ООО «Газпром ВНИИГАЗ», филиал в г. Ухта

Alexander S. Kuzbozhev, Doctor of Engineering, Head of the Department of Reliability and Service Life of the Northern Corridor of the Gas Transmission System, Branch office of Gazprom VNIIGAZ LLC in Ukhta, a.kuzbozhev@sng.vniigaz.gazprom.ru

Ivan V. Shishkin, Candidate of Engineering, Leading Researcher of the Laboratory of Reliability of Gas Transmission System Facilities of the Department of Reliability and Service Life of the Northern Corridor of the Gas Transmission System, Branch office of Gazprom VNIIGAZ LLC in Ukhta, i.shishkin@sng.vniigaz.gazprom.ru

Igor N. Birillo, Candidate of Engineering, Head of the Laboratory of Reliability of Gas Transmission System Facilities of the Department of Reliability and Service Life of the Northern Corridor of the Gas Transmission System, Branch office of Gazprom VNIIGAZ LLC in Ukhta

Pavel A. Kuzbozhev, Candidate of Engineering, Senior Researcher of the Laboratory of Reliability of Gas Transmission System Facilities of the Department of Reliability and Service Life of the Northern Corridor of the Gas Transmission System, Branch office of Gazprom VNIIGAZ LLC in Ukhta

Статья поступила в редакцию 14.06.2023; одобрена после рецензирования 05.07.2023; принята к публикации 07.07.2023.

The article was submitted 14.06.2023; approved after reviewing 05.07.2023; accepted for publication 07.07.2023.