

Крушневич С.П., канд. техн. наук, **Пятничко А.И.,** канд. техн. наук,
Жук Г.В., докт. техн. наук, **Солтаниберешне М.А.,** аспирант
Институт газа НАН Украины, Киев
ул. Дегтяревская, 39, 03113 Киев, Украина, e-mail: admin@sergeyk.kiev.ua

Использование перепада давления на газораспределительных станциях для производства электрической энергии в периоды пиковых нагрузок

Перед подачей природного газа из магистрального газопровода к потребителю он проходит несколько этапов снижения давления на газораспределительных станциях и пунктах. Снижение давления природного газа сопровождается выделением значительного количества энергии холода. Для предотвращения образования гидратов перед снижением давления газ предварительно подогревают, чтобы обеспечить на выходе дросселя температуру, которая гарантированно превышает температуру точки гидратообразования. Дросселирование приводит к потере потенциальной энергии, которая ранее была использована для сжатия природного газа, и к дополнительным затратам природного газа для подогрева. Если заменить дроссель на детандер, то энергию от снижения давления природного газа можно утилизировать и использовать часть энергии, которая ранее была затрачена при сжатии газа. Отрицательным фактором использования детандера является возрастание перепада температур между его входом и выходом в 5–8 раз по сравнению с дросселем, что требует увеличения в 7–11 раз объема топливного газа, который используется для подогрева газа перед детандером. В связи с этим выполнен топливно-экономический расчет рациональности утилизации перепада давления с учетом уровня цен в Украине на энергоносители за январь 2016 г. Еще одним положительным фактором при производстве электрической энергии на газораспределительных станциях является частичная компенсация пиковых нагрузок на электрическую сеть Украины, так как потребление природного газа в пиковые периоды также возрастает. *Библ. 8, рис. 2, табл. 2.*

Ключевые слова: газораспределительные станции, производство электричества, утилизация энергии, перепад давления, природный газ.

Существующая газотранспортная система (ГТС) Украины может обеспечить транзит газа через свою территорию в объеме до 170 млрд м³/год по газопроводам высокого давления общей протяженностью 33 тыс. км.

Подача газа потребителям обеспечивается газопроводами низкого давления. Отвод газа к потребителю от магистрального газопровода и снижение его давления происходит на газораспределительных станциях (ГРС) и пунктах (ГРП), при этом энергия от расширения газа безвозвратно теряется. На ГРС давление газа снижают до 1,2–1,6 МПа, затем на ГРП — до 0,1–0,3 МПа [1]. Расчеты показывают, что при расширении природного газа с 4,0 до 0,6 МПа в турбодетандерных установках на ГРС можно выработать 47 кВт·ч электрической энергии и примерно столько же холода (на уровне –100 °С на каждые 1000 нм³ газа).

Решением ДК «УкрТрансГаз», НАК «Нафтогаз Украины» и в соответствии с «Энергетической стратегией Украины на период 2006–2010 годов» предусматривалось создание 54 утилизационных турбодетандерных электростанций на ГРС суммарной мощностью 300 МВт, однако эти работы не были начаты. Необходимые капитальные затраты на то время оценивались в 725 млн грн. Ожидаемая экономия природного газа могла составить 0,8 млрд м³/год при производстве электроэнергии 1,5–2,0 млрд кВт·ч.

Цель настоящей статьи — оценить суммарный энергетический потенциал и целесообразность использования перепада давления на ГРС для выработки электрической энергии с учетом действующих тарифов на природный газ и электрическую энергию.

Упрощенная схема ГРС (ГРП) представлена на рис.1. Газ из магистрального газопровода

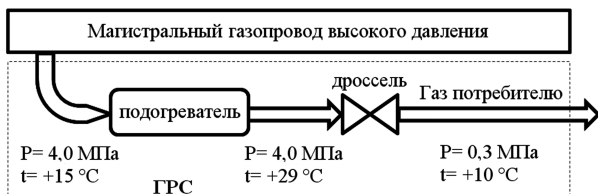


Рис.1. Упрощенная схема ГРС.

отбирается с высоким давлением, подается на дросселирующее устройство, где расширяется до необходимого давления. В результате расширения температура существенно снижается (рис.2). Для предотвращения образования гидратов газ подогревается с помощью огневых подогревателей до температуры на выходе заведомо выше точки образования гидратов.

Чаще всего на территории и поблизости ГРС потребители холода отсутствуют, поэтому вся энергия, выделяемая при расширении газа, напрасно теряется, а на подогрев газа затрачивается дополнительная энергия.

Авторами было проведено исследование возможности выработки электрической энергии на примере ГРС «Белая Церковь» за счет энергии расширения природного газа со следующими исходными параметрами: $P_n = 4$ МПа; $P_k = 0,3; 0,6; 1,2$ МПа; $t_n = +15$ °С; $t_k = +10$ °С; $Q_n = Q_k = 22000$ ст.м³/ч. Здесь n – начальное значение (параметры магистрального газопровода); k – конечное значение (параметры газопровода потребителя).

Получение механической энергии на перепаде давлений выполняется с помощью детандерной установки. В связи с тем, что расширение с помощью детандера приводит к существенному снижению температуры газа, для сравнения экономики в расчетах присутствует расход топливного газа для огневого подогревателя с тепловым КПД 90 % [2] и принята теплотворная способность этого газа 31,8 МДж/м³ (согласно ГОСТ 5542-87). Здесь и в дальнейшем природный газ, который подается потребителю, будем называть «товарный газ», а используемый для подогрева товарного газа – «топливный газ».

Все расчеты выполнялись с помощью программы термодинамических расчетов ГазКонд-Нефть [3]. Результаты расчетов параметров



Рис.2. Обмерзание трубопровода после дросселя.

Таблица 1. Параметры при расширении природного газа при расходе 1000 нм³/ч

Параметр	Давление газа на выходе, МПа		
	0,3	0,6	1,2
Дроссель			
Перепад температуры, °С	18,6	17,2	14,3
Количество тепла для подогрева товарного газа, МДж/ч	23,0	20,6	15,7
Затраты топливного газа на подогрев товарного газа, нм³/ч	0,80	0,72	0,55
Детандер			
Перепад температуры, °С	155,9	115,4	74,5
Количество теплоты для подогрева товарного газа, МДж/ч	261,9	188,9	118,6
Мощность детандера, кВт	66,34	46,72	28,35
Затраты топливного газа на подогрев товарного газа, нм³	9,15	6,60	4,14

при расширении природного газа представлены в табл.1.

Как видно из табл.1, при использовании детандера перепад температур между его входом и выходом в 5–8 раз выше, чем при использовании дросселя, что приводит к повышению расхода топливного газа в огневом подогревателе в 7–11 раз.

По данным Министерства энергетики и угольной промышленности Украины за 2015 г., использование природного газа потребителями в Украине составило 33,8 млрд м³ [4].

Исходя из этих данных и приняв, что 10 % этого объема будет проходить через ГРС с выработкой электричества, при среднем снижении давления из магистрального газопровода с 4,0 до 0,6 МПа на детандерах можно получить следующую мощность за год:

$$46,72 \text{ кВт/тыс. нм}^3 \times 32,8 \cdot 10^6 \text{ тыс. нм}^3 \times 10 \% = 153,2 \text{ ГВт (мех. раб.)} = 145,6 \text{ ГВт}_{эл} (\eta = 0,95).$$

Затраты топливного газа для подогрева товарного газа перед снижением давления с помощью дроссельного устройства, нм³ (топливный газ)/нм³ (транзитный газ) нм³ т.г/тр.г:

$$0,00072 \text{ нм}^3 (\text{топ.газ/транзит.газ}) \times 32,8 \cdot 10^6 \text{ тыс. нм}^3 \cdot 10 \% = 2,36 \text{ млн нм}^3.$$

Затраты топливного газа для подогрев товарного газа перед детандером:

$$0,0066 \text{ нм}^3 (\text{топ. газ/транзит. газ}) \times 32,8 \cdot 10^6 \text{ тыс. нм}^3 \times 10 \% = 21,6 \text{ млн м}^3.$$

Для оценки целесообразности производства электрической энергии на ГРС выполнен топливно-экономический анализ. Для этого были

Таблиця 2. Топливоно-економічна ефективність (грн/ч) на 1000 нм³/ч

Параметр	Давлення газу на виході, МПа		
	0,3	0,6	1,2
Прибуль	Дросель		
	-6,73	-6,06	-4,63
Затрати на підігрів газу	Детандер		
	-77,00	-55,54	-34,84
Виробка електроенергії з допомогою детандера	+126,53	+89,11	+54,07
Прибуль	+49,53	+29,57	+19,23

Примечание. Знаки «+» і «-» вказують на прибуль і убуток відповідно.

приняті наступні тарифи для підприємств, актуальні на січень 2016 г.: електрична енергія – 1,9073 грн/кВт·ч [7]; природний газ – 8,41572 грн/м³ [8]. Результати порівняння представлені в табл.2.

Як видно з табл.2, спосіб утилізації енергії перепаду тиску на ГРС з використанням детандера показує свою рентабельність при поточних тарифах на енергоресурси.

Висновки

При зниженні тиску на детандері з 4,0 до 0,6 МПа і витраті газу через ГРС в об'ємі 22000 нм³/ч можна отримати прибуль в розмірі 650,54 грн/ч = 15,6 тис. грн/сут = 476 тис. грн/мес = 5,7 млн грн/год. Звичайно, частину цієї суми йде на технічне обслуговування більш складної установки і повернення коштів за придбання обладнання, але навіть без використання «зеленого тарифу» ГРС отримує помітну

прибуль. Крім того, збільшується виробництво електричної енергії в години піку, так як споживання природного газу в години піку також зростає, що в цілому вигідно відобразиться на щоденній навантаженні електричних мереж України.

Список літератури

1. Черных А.П. Использование перепада давления газа, редуцируемого на ГРС и ГРП для получения электроэнергии и тепла // Вісник інженерної академії України. – 2009. – № 1. – С. 251–256.
2. Подогреватели газа / Завод нефтегазовых технологий. – Режим доступа: <http://zngt.com.ua/uk/контакты/15-подогреватели-газа>
3. ГазКондНефть. Програмная система для компьютерного моделирования технологий промышленного сбора и обработки природного газа и нефти, газоразделения и фракционирования нефти и конденсата // Термогаз. – Режим доступа: <http://gascondoil.com/>
4. У 2015 році Україна скоротила використання природного газу на 21 % // НАК «Нафтогаз України». – URL: <http://www.naftogaz.com/>
5. ЭГ-1000 // «Президент-Нева» Энергетический центр. – <http://www.powercity.ru/site/ru/catalog/48.html>
6. Газотурбинные двигатели для использования в газотранспортных сетях // «Зоря-Машпроект». – 2007. – 16 с.
7. Тарифи на електричну енергію з 1 січня 2016 року / Київенерго. – Режим доступа: <http://kyivenergo.ua/ee-company/tarifi>
8. Прейскурант на природний газ з 1 січня 2016 року // НАК «Нафтогаз України». – Режим доступа: <http://www.naftogaz.com/files/Information/Naftogaz-gas-prices-Jan-2016.pdf>

Поступила в редакцію 02.02.16

Крушиневич С.П., канд. техн. наук, П'ятницько О.І., канд. техн. наук,

Жук Г.В., докт. техн. наук, Солтаниберешне М.А., аспірант

Інститут газу НАН України, Київ

вул. Десятівська, 39, 03113 Київ, Україна, e-mail: admin@sergeyk.kiev.ua

Використання перепаду тиску на газорозподільних станціях для виробництва електричної енергії у періоди пікових навантажень

Перед подачею природного газу з магістрального газопроводу до споживача він проходить кілька етапів зниження тиску на газорозподільних станціях та пунктах. Зниження тиску природного газу супроводжується виділенням значної кількості енергії холоду. Для запобігання утворення гідратів перед зниженням тиску газ попередньо підігрівають, щоб забезпечити на виході дроселя температуру, яка гарантовано перевищує температуру точки гідратуутворення. Дроселювання призводить до втрати потенційної енергії, яка раніше була використана для стиснення природного газу, та до додаткових витрат природного газу для підігріву. Якщо замінити дросель на детандер, то енергію від зниження тиску природного газу можна утилізувати та використати

частину енергії, яка раніше була витрачена при стисненні газу. Негативним фактором використання детандера є зростання перепаду температур між його входом та виходом у 5–8 разів, що вимагає збільшення у 7–11 разів у порівнянні з дроселем обсягу паливного газу, який використовується для підігріву газу перед детандером. У зв'язку з цим виконано паливно-економічний розрахунок раціональності утилізації перепаду тиску з урахуванням рівня цін в Україні на енергоносії у січні 2016 р. Ще одним позитивним фактором при виробництві електричної енергії на газорозподільних станціях є часткова компенсація пікових навантажень на електричну мережу України, оскільки споживання природного газу в пікові періоди також зростає. *Бібл. 8, рис. 2, табл. 2.*

Ключові слова: газорозподільні станції, виробництво електроенергії, утилізація енергії, перепад тиску, природний газ.

Krushnevich S.P., Candidate of Technical Sciences, **Pyatnichko A.I.**, Candidate of Technical Sciences, **Zhuk H.V.**, Doctor of Technical Sciences, **Soltanibereshne M.A.**, PhD Student

The Gas Institute of National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev
39, Degtyarivska Str., 03113 Kiev, Ukraine, e-mail: admin@sergeyk.kiev.ua

Use of Pressure on the Gas Distribution Stations for Power Generation at Peak Periods

Before serving natural gas from the main gas pipeline to the consumer, he passes several stages of pressure reduction in the gas distribution stations. Reducing the pressure of natural gas is producing a significant amount of energy of cold. To prevent hydrate formation, gas is preheated to temperature which is guaranteed higher than expected point of hydrate formation on pressure reducer output. Reducing of pressure causes loss of potential energy, which was previously used for the compression of natural gas and in additional costs of natural gas for heating. If replace pressure reducer to expander, the energy from the gas pressure reducing can be partially repaired and used as the energy which was previously expended in compressing the gas. Negative factor of using of the expander is increase the temperature difference between its input and output to 5–8 times in comparison with the throttle, which requires increase to 7–11 times the volume of gas that is used to preheat the gas to an expander. For correct comparison, the authors carried out a fuel-economic calculation rational utilization pressure differential with the prices level of energy carriers in Ukraine in January 2016. Another positive factor in the production of electricity using the gas distribution stations is a partial compensation of peak loads on the electricity network of Ukraine, as natural gas consumption during peak periods also increases. *Bibl. 8, Fig. 2, Tab. 2.*

Key words: the gas distribution stations, hydraulic structures, electricity generation, energy utilization, pressure drop, natural gas.

References

1. Chernih A.P. Yspol'zovanye perepada davleniya gaza, reducirovannogo na GRS y GRP dlja polucheniya elektroenergiy y tepla, *Visnyk inzhenernoi akademii' Ukrainy*, 2009, (1), pp. 251–256.
2. Podogrevately gaza. Zavod neftegazovih tehnologiy. — Access mode: <http://zngt.com.ua/uk/kontakty/15-podogrevately-gaza>
3. GazKondNef't'. Programmnaia sistema dlja komp'juternogo modelirovaniya tehnologiy promislivogo sbora y obrabotki pryrodnogo gaza y nefty, gazorazdeleniya y frakcionirovaniya nefty y kondensata, Termogaz. — Access mode: <http://gascond.oil.com/>
4. U 2015 roci Ukrain'a skorotyly vykorystannja pryrodnogo gazu na 21 %, NAK «Naftogaz Ukrainy». — Access mode: <http://www.naftogaz.com/>
5. ЭГ-1000, «Президент-Нева» Energeticheskij centr. — Access mode: <http://www.powercity.ru/site/ru/catalog/48.html>
6. Gazoturbynnye dvygately dlja yspol'zovaniya v gazo-transportnyh setjah, «Zorja»-«Mashproekt», 2007, 16 p.
7. Taryfy na elektrychnu energiju z 01.01.2016 roku. — Access mode: <http://kyivenergo.ua/ee-company/tarifi>
8. Prejskurant na pryrodnyj gaz z 1 sichnja 2016 roku, NAK «Naftogaz Ukrainy». — Access mode: <http://www.naftogaz.com/files/Informaion/Naftogaz-gas-prices-Jan-2016.pdf>