

## РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ДЕТАНДЕР-ГЕНЕРАТОРНОГО АГРЕГАТА ДЛЯ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СТАНЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ В КАЧЕСТВЕ СИСТЕМЫ ПОДОГРЕВА ГАЗА ТЕПЛОЙ НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ

С.В. Урванов<sup>1</sup>, Ю.Н. Кондрашова<sup>2</sup>, О.В. Газизова<sup>2</sup>, Д.С. Скворцов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург», Магнитогорское линейное производственное управление магистральных газопроводов (ЛПУМГ), г. Магнитогорск,

<sup>2</sup> Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск

Разработка технологий ресурсосбережения существующих источников энергии является одной из приоритетных задач Энергетической стратегии России, которая предусматривает сокращение потерь и снижение затрат на всех стадиях технологического процесса при добыче, подготовке и транспорте природного газа. На сегодняшний день весьма перспективной является утилизация энергии избыточного давления природного газа на газораспределительных станциях (ГРС) с помощью детандерных установок. Решением проблемы отсутствия подогрева газа в детандер-генераторном агрегате (ДГА) может стать схема установки с подогревом за счет применения системы подогрева газа тепловой насосной станции.

*Ключевые слова:* детандер-генераторный агрегат, газораспределительная станция, тепловая насосная установка.

### Введение

В современных условиях актуальной является ситуация, складывающаяся на рынке электроснабжения страны. С 2008 года цены на электроэнергию в России для промышленных предприятий в среднем выросли на 70 %. На основании данных, приведенных в [1], по итогам 2012 года цена на электроэнергию для промышленных предприятий в России составила в среднем 3 руб./кВт·ч, при этом уровень качества обеспечения бесперебойного питания системами электроснабжения [2, 3] с каждым годом ухудшается. Высокая степень изношенности оборудования электростанций приводит к снижению надежности и эффективности его работы [4]. Одним из необходимых условий обеспечения требуемого уровня промышленной безопасности газотранспортных предприятий является надежность электроснабжения объектов.

Кроме этого, по данным [5–7], по состоянию на 2015 год Россия занимает первое место в мире по объему запасов природного газа, но лишь семьдесят восьмое место по их достаточности при текущем объеме добычи в 655,067 млрд м<sup>3</sup>/год. Как видно из представленного ниже рис. 1 в России запасов природного газа при прочих равных условиях добычи хватит почти на 80 лет. В связи с этим существуют следующие пути рациональ-

ного использования природных энергетических ресурсов:

– поиск и разработка новых источников энергии;

– поиск и разработка технологий ресурсосбережения существующих источников энергии.

Поиск и разработка технологий ресурсосбережения существующих источников энергии является одной из приоритетных задач Энергетической стратегии России на период до 2020 года, которая предусматривает сокращение потерь и снижение затрат на всех стадиях технологического процесса при добыче, подготовке и транспорте природного газа.

С точки зрения применения альтернативных источников электроснабжения и энергосбережения в газотранспортной системе на сегодняшний день весьма перспективной является утилизация энергии избыточного давления природного газа на газораспределительных станциях (ГРС) с помощью детандерных установок [8]. Мировой опыт эксплуатации данных установок показывает надежность и эффективность их применения на ГРС промышленных предприятий, однако в нашей стране применение детандерных агрегатов еще не получило широкого распространения.

Задача утилизации энергии избыточного давления природного газа технически реализуется в

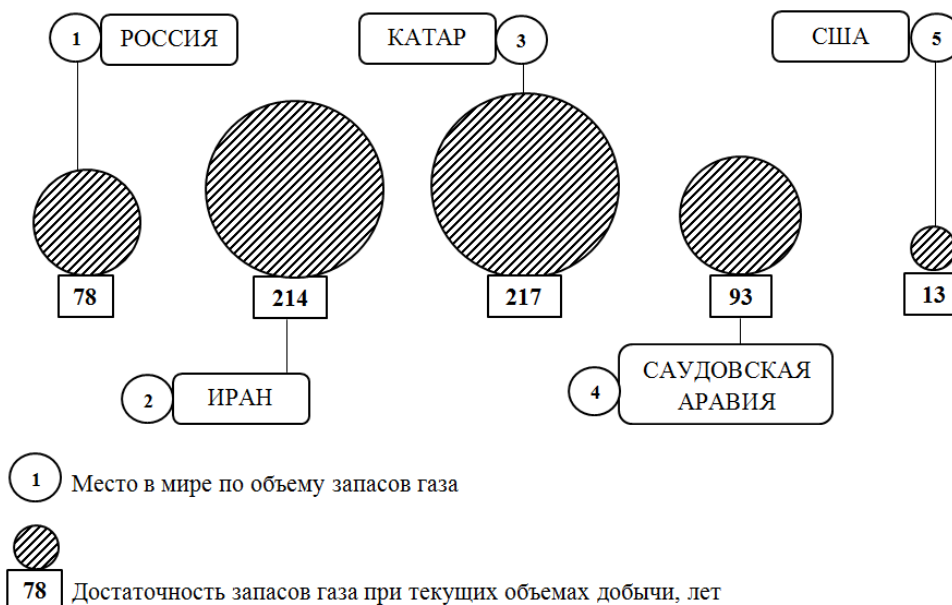


Рис. 1. Достаточность запасов природного газа в странах при текущих объемах добычи

турбодетандерных агрегатах. Детандер-генераторный агрегат (ДГА) представляет собой устройство, в котором энергия потока транспортируемого природного газа преобразуется сначала в механическую энергию в детандере, а затем в электроэнергию в генераторе.

### Основное содержание

В работах [9–11] проведены исследования существующих схем подогрева газа в ДГА. На основании изученных материалов автором выделены критерии для выбора оптимальной системы подогрева газа. Критерии разделены на *первоначальные* и *расчетные*. Первоначальные критерии определяются сразу, при выборе ДГА, расчетные же устанавливаются на стадии проектирования установки.

К первоначальным критериям отнесены:

#### 1. Назначение установки:

- 1.1. Производство продуктов для удовлетворения собственных нужд;
- 1.2. Производство продуктов для реализации на сторону;
- 1.3. Получение электроэнергии;
- 1.4. Получение холода;
- 1.5. Получение дополнительного тепла;
- 1.6. Получение СПГ;
- 1.7. Получение нескольких производных продуктов.

#### 2. Проектные решения ГРС:

- 2.1. Наличие/отсутствие подогревателей газа, предусмотренных проектом;
- 2.2. Возможность проведения дополнительных технических мероприятий (например, дополнительная осушка газа позволит снизить порог допустимой температуры на выходе из детандера, тем самым исключить подогрев газа после ДГА и

необходимость получения более высоких величин подогрева газа перед ДГА);

2.3. Геометрические размеры (пространство, необходимое для применения той или иной системы);

2.4. Степень понижения давления газа  $n = P_{ВХ}/P_{ВЫХ}$  (при  $n < 6$  – одноступенчатый подогрев газа, при  $n \geq 6$  – многоступенчатый подогрев газа);

2.5. Возможность применения в качестве источников подогрева газа теплоты вторичных энергетических ресурсов;

2.6. Газодинамические характеристики ГРС.

#### 3. Пространственное расположение ГРС:

3.1. Возможность применения для системы подогрева газа возобновляемых источников энергии (силы ветра, геотермальных источников, солнечной энергии).

К расчетным критериям отнесены:

4. Влияние систем подогрева газа ДГА на работу газопотребляющего оборудования (за критерий принята разность энтальпий –  $\Delta h$  газа на выходе и входе в установку ДГА).

5. Техничко-экономические показатели:

- 5.1. Капитальные затраты при строительстве;
- 5.2. Затраты при эксплуатации;
- 5.3. Снижение издержек производства.

6. Экология, охрана труда, промышленная и пожарная безопасность.

На основании представленных критериев можно сделать следующие выводы по ДГА:

1. ДГА будет предназначен для получения электроэнергии для удовлетворения собственных нужд ГРС и реализации на сторону.

2. Для системы подогрева газа отсутствует возможность применения утилизационных устано-

вок (отсутствие проектных подогревателей газа и неприемлемость применения тепловых установок с утилизацией газа).

3. В качестве источников для подогрева газа невозможно использовать теплоту вторичных энергетических ресурсов.

4. Для системы подогрева газа возможно применение возобновляемого источника энергии – низкопотенциального источника теплоты.

Ввиду вышеизложенного возможной и скорее всего единственной технологической схемой ДГА, при текущих условиях на ГРС-3 [12–14], является схема работы ДГА совместно с тепловой насосной установкой, в которой газ перед детандером подогревается с помощью нагретого механическим путем воздуха после воздушного компрессора. При таком техническом решении для обеспечения нормальной работы ДГА используется тепловая энергия окружающей среды, в данном случае атмосферного воздуха. Эта схема представляет собой разновидность схемы подогрева с тепловым насосом.

Проблема применения ДГА для выработки электрической энергии на ГРС-3 г. Магнитогорска на данный момент связана с отсутствием в технологической схеме станции подогревателей газа, а, как известно, подогрев газа перед входом в детандер влияет на технико-экономические показатели всего агрегата. Необходимость подогрева газа связана с возможностью получения при рабочих режимах установки отрицательных (до  $-60^{\circ}\text{C}$  и ниже) температур рабочего тела, что накладывает особые условия по обеспечению требуемого технологического режима работы газопровода. Можно отказаться от подогрева газа в ДГА, например, при производстве сжиженного природного газа (СПГ), но в случае получения одной электрической энергии, особенно в большом объеме, полностью исключить систему подогрева не удастся. Возможность создания на ГРС-3 утилизационных установок для подогрева газа ограничена использованием в качестве топлива природного газа, что является экономически (дополнительный расход газа) и экологически (сжигание газа) неблагоприятными сторонами при выборе данных установок.

В настоящее время применение в различных отраслях промышленности получили системы, для выработки теплоты в которых применяются экологически безопасные технологии [15–17], основанные на использовании в качестве топлива либо возобновляемых (природных) низкопотенциальных источников теплоты, либо нанотехнологий (в частности биогазов).

Решением проблемы отсутствия подогрева газа в ДГА может стать схема установки с подогревом за счет теплоты возобновляемого источника энергии, низкий температурный потенциал которой повышается с применением теплонасосной установки. Насосная установка, в данном случае

может быть как воздушная (ВТНУ), так и парокompрессионная (ПТНУ). В обеих установках низкопотенциальным источником теплоты может выступать атмосферный воздух, который нагревается либо механическим путем в ВТНУ за счет сжатия в компрессоре, либо в контуре хладагента в ПТНУ [18, 19].

Одним из недостатков рассматриваемых схем ВТНУ является низкая доля отдаваемой в сеть (полезной) электроэнергии и малая вероятность получения заданных температур (от  $+60^{\circ}\text{C}$ ) газа перед детандером при использовании одноступенчатого подогрева газа. Многоступенчатый же подогрев газа ведет к увеличению стоимости оборудования и еще большему уменьшению доли электроэнергии, вырабатываемой в сеть. Добиться высоких показателей эффективности работы ДГА возможно использованием парокompрессионной тепловой насосной установки. Схема работы ПТНУ изображена на рис. 2.

Установка работает следующим образом: природный газ по магистрали высокого давления 1 поступает на ГРС. Для технологического снижения давления транспортируемого природного газа традиционно применяется дросселирующее устройство 2, после которого газ поступает в трубопровод низкого давления 3. Параллельно дросселирующему устройству для снижения давления газа в работу включен детандер-генераторный агрегат, в состав которого входят детандер 6, кинематически соединенный с электрогенератором 8, теплообменник подогрева газа перед детандером 5. Снижение давления в детандере осуществляется за счет расширения потока транспортируемого газа, при этом в генераторе 9 вырабатывается электроэнергия. Одна часть электроэнергии, вырабатываемой электрогенератором 8 ДГА, по линии 9 подается на электродвигатель 12 – привод компрессора 11 ТНУ-1, вторая часть по линии 10 подается в электросеть. Для подогрева транспортируемого газа перед детандером в теплообменнике 5 используется парокompрессионная теплонасосная установка, в состав которой входят испаритель 13, компрессор 11 с электродвигателем 12, дросселирующее устройство 14 и пароохладитель (конденсатор) 5, являющийся одновременно теплообменником подогрева транспортируемого газа перед детандером. Хладагент, находящийся в газообразном состоянии, из испарителя 13 подается в компрессор 11 ТНУ-1. В компрессоре давление и температура хладагента повышаются до необходимых по условиям эксплуатации величин. Из компрессора 11 хладагент направляется в теплообменник подогрева газа – пароохладитель (конденсатор) 5 ТНУ-1. В пароохладителе (конденсаторе) происходит нагрев транспортируемого природного газа за счет охлаждения хладагента или теплоты его конденсации в зависимости от характера изобары. Из пароохладителя (конденсатора) 5 хладагент

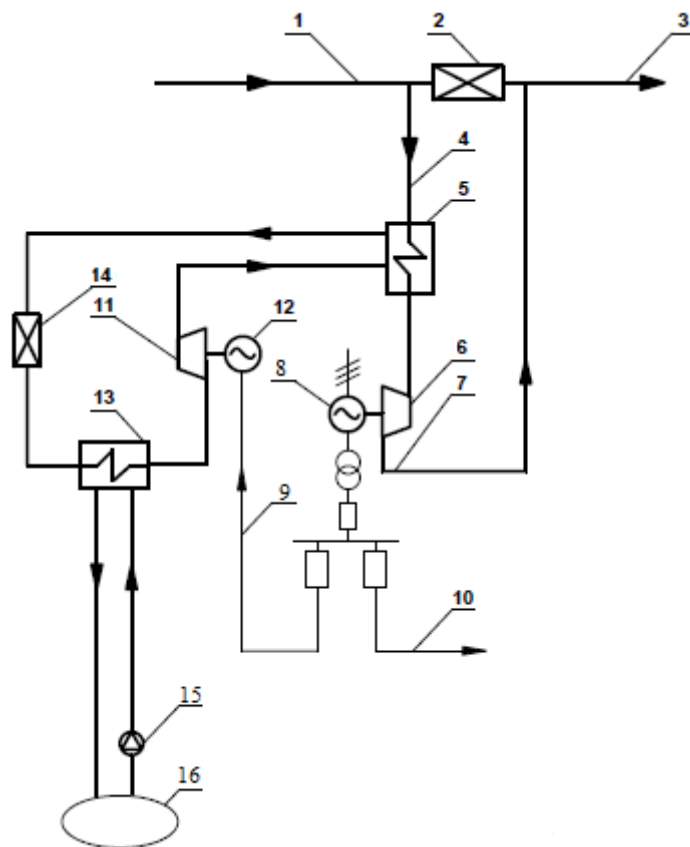


Рис. 2. Технологическая схема установки бесплоптивной генерации электроэнергии на базе ДГА и ПТНУ

направляется в дросселирующее устройство 14 ТНУ-1. В дросселирующем устройстве 14 давление хладагента уменьшается до необходимого по условиям эксплуатации, после чего хладагент направляется в испаритель 13. В испарителе 13 происходит испарение хладагента за счет теплоты низкого температурного потенциала, поступающего от источника 16, в качестве которого используется воздух.

Для расчета установки, включающей в себя ДГА и ПТНУ, были заданы следующие условия:

1. Тепловой насос работает по циклу с глубоким охлаждением хладагента после конденсации.
2. Температура газа на входе ГРС  $t_{Г1} = 2 \text{ }^\circ\text{C}$ .
3. Температура газа на входе в детандер  $t_{Г6} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$ .
4. Температура в испарителе  $t_{И}$  принимает значения  $5 \text{ }^\circ\text{C}$ .
5. Недогрев в конденсаторе равным  $5 \text{ }^\circ\text{C}$ , а недогрев в испарителе –  $4 \text{ }^\circ\text{C}$ .
6. Температура жидкой фазы хладагента перед дросселем принята равной  $t_{Д} = 35 \text{ }^\circ\text{C}$ .
7. В качестве рабочего тела теплового насоса используется хладагент R134a.

Расчет выполнялся по методике, изложенной в [15, 16], и его результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчета схемы, включающей в себя ДГА и ПТНУ, при перепаде давлений 3,5/1,2 МПа/МПа, температуре окружающего воздуха  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  и температуре магистрального газа  $2 \text{ }^\circ\text{C}$

По газу	$T_{Г1}, \text{ }^\circ\text{C}$	2	2	2	2
	$T_{Г2}, \text{ }^\circ\text{C}$	30	40	50	60
	$T_{ГТД2}, \text{ }^\circ\text{C}$	-23,9	-14,4	-4,8	7,5
	$p_{Г1}, \text{ МПа}$	3,5	3,5	3,5	3,5
	$p_{ГТД2}, \text{ МПа}$	1,2	1,2	1,2	1,2
	$G_{Г}, \text{ кг/с}$	1	1	1	1
R134a	$G_{х}, \text{ кг/с}$	0,25	0,38	0,49	0,61
Мощности	$N_{ДГА}, \text{ кВт}$	99,82	102,78	105,67	108,62
	$N_{К}, \text{ кВт}$	30,12	36,50	42,50	48,0
	$N_{С}, \text{ кВт}$	69,70	66,28	63,17	60,62

Из табл. 1 и рис. 3 видно, что при увеличении температуры газа  $T_{Г2}$  перед входом в детандер на каждые 10 градусов мощность, потребляемая компрессором  $N_{К}$ , и доля электроэнергии, отдаваемой в сеть  $N_{С}$ , на 20 % увеличивается и уменьшается соответственно.

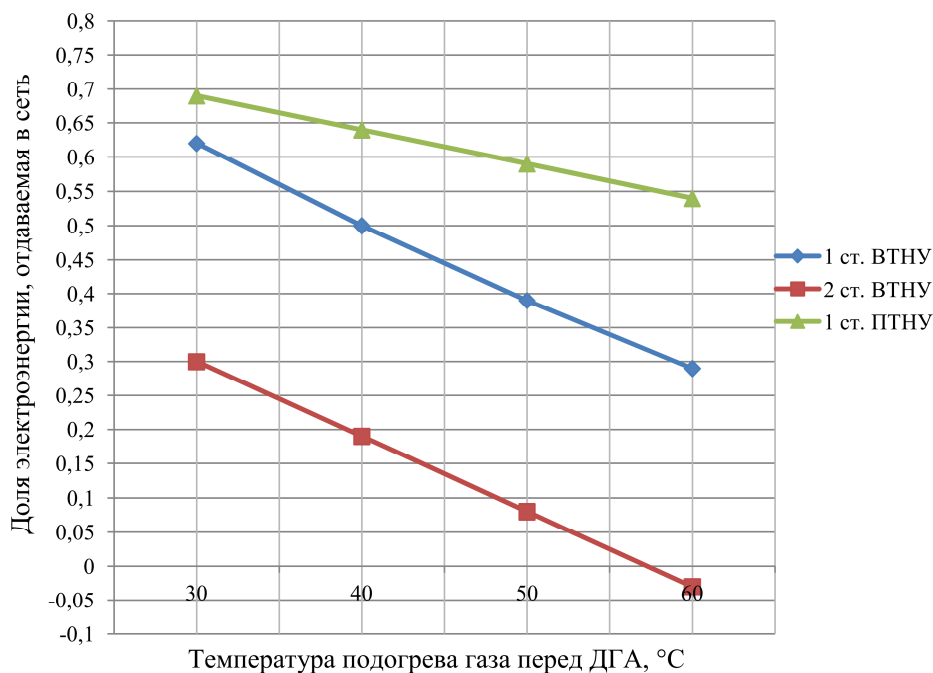


Рис. 3. Зависимость доли электроэнергии, выдаваемой в сеть, от температуры подогрева газа для одно- и двухступенчатых ВТНУ и ПТНУ, работающей на хладагенте R134а

Сравнивая результаты расчета парокompрессионной и воздушной ТНУ, можно сделать следующие выводы:

1. Доля электроэнергии, отдаваемой в сеть, при совместном использовании ДГА и ПТНУ на 40–60 % больше (в зависимости от значения температуры подогрева газа перед ДГА), чем в случае схемы ДГА-ВТНУ с двухступенчатым подогревом газа и на 10–25 % больше при одноступенчатом нагреве.

2. Очевидно, что в схеме совместной работы ПТНУ-ДГА стоимость оборудования будет значительно меньше за счет отказа от воздушных турбин ТНУ и меньшего типоразмера компрессоров.

#### Определение технико-экономических показателей ДГА применительно к ГРС-3 г. Магнитогорска

Для оценки технико-экономических показателей использована зависимость, приведенная в работе [20],

$$T_{\text{OK}} \geq \frac{Z_{\text{КАП}}}{K_{\text{ИНФ}} \cdot (W_{\text{ЭЛ}} \cdot t \cdot T - Z_{\text{ЭКСП}})}, \quad (1)$$

где  $T_{\text{OK}}$  – период (срок) окупаемости ДГА;

$Z_{\text{КАП}}$  – капитальные вложения на строительство ДГА, руб. (приняты 10,0 млн руб.);

$K_{\text{ИНФ}}$  – коэффициент инфляции в рассматриваемом периоде (принят 1,1);

$W_{\text{ЭЛ}}$  – средняя мощность, генерируемая ДГА, кВт (принята 66,62 кВт);

$t$  – количество часов работы ДГА, ч (принято 8760 ч);

$T$  – стоимость электрической энергии (тариф), руб./кВт·ч (табл. 2);

Таблица 2

Стоимость электрической энергии за период с 2013 по 2016 год

T, руб./кВт·ч	Год
3,5	2013
4,5	2014
6,48	2015
7,9	2016

$Z_{\text{ЭКСП}}$  – эксплуатационные затраты (издержки), руб. (приняты 10 %  $Z_{\text{КАП}}$ ).

Объем потребляемой ГРС-3 электроэнергии за 2013–2016 года приведен в табл. 3.

Количество вырабатываемой ДГА в сеть электроэнергии за год определяется как

$$N_{\text{СГОД}} = W_{\text{ЭЛ}} \cdot t = 66,62 \cdot 8760 = 583\,591,2 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Таким образом, при расходе газа через детандер  $G_T = 1 \text{ кг/с}$  количество вырабатываемой ДГА в сеть электроэнергии полностью покрывает потребность станции в электроснабжении.

Срок окупаемости установки при минимальном расходе газа через детандер составит:

$$T_{\text{OK}} \geq \frac{10\,000\,000}{1,1 \cdot (66,62 \cdot 8760 \cdot 3,5 - 1\,000\,000)} \geq 8,7 \text{ лет};$$

$$T_{\text{OK}} \geq \frac{10\,000\,000}{1,1 \cdot (66,62 \cdot 8760 \cdot 7,9 - 1\,000\,000)} \geq 2,5 \text{ лет}.$$

Таблица 3

Объем потребляемой ГРС-3 электроэнергии  
за период с 2013 по 2016 год

Месяц	Количество потребляемой электроэнергии, кВт·ч			
	2013	2014	2015	2016
1	5988	6527	6788	6890
2	4535	4943	5141	5218
3	4454	4855	5049	5125
4	4490	4894	5090	5166
5	4719	5144	5349	5430
6	3753	4091	4254	4318
7	3696	4029	4190	4253
8	3171	3456	3595	3649
9	5080	5537	5759	5845
10	4612	5027	5228	5307
11	5146	5609	5834	5921
12	4849	5285	5497	5579
Итого	56 506	61 411	63 788	64 716

Ежегодная прибыль от реализации электроэнергии на сторону составит не менее:

а) на 2013 год

$$(N_{\text{С год}} - N_{\text{СН год}}) \cdot K_{\text{ИНФ}} \cdot T =$$

$$= (583\,591,2 - 52\,793) \cdot 3,5 = 1,8 \text{ млн руб.}$$

б) на 2016 год

$$(N_{\text{С год}} - N_{\text{СН год}}) \cdot K_{\text{ИНФ}} \cdot T =$$

$$= (583\,591,2 - 52\,793) \cdot 7,9 = 4,1 \text{ млн руб.}$$

### Заключение

По результатам работы можно сделать следующие выводы:

1. Исследована эффективность работы защищенных патентами схем ДГА для производства электроэнергии на ГРС промышленных предприятий.

2. Определены критерии для выбора оптимальной системы подогрева газа для ДГА.

3. На основании определенных критериев выбрана оптимальная система подогрева ДГА для ГРС-3 г. Магнитогорска при текущих условиях эксплуатации станции.

4. Определена зависимость доли полезной электроэнергии, отдаваемой ДГА в сеть, при схемах подогрева газа с помощью воздушной и пароконденсационной ТНУ;

5. Определены технико-экономические показатели совместной работы ДГА и ПТНУ на ГРС-3 г. Магнитогорска;

6. Обоснована для выбора и применения технологическая схема ДГА с использованием в качестве системы подогрева газа ТНУ для ГРС-3 г. Магнитогорска.

### Литература

1. Кулаков, А.С. *Отраслевой обзор «Теплоэнергетика России 2012–2016. 10 лет с начала энергореформы»* / А.С. Кулаков, С.Н. Поповский // *Теплоэнергетика*. – 2016. – № 1. – С. 1–15.

2. *Исследование сходимости метода расчета установившихся режимов систем электроснабжения при работе отдельно с энергосистемой* / О.В. Буланова, В.А. Изумицев, А.В. Малафеев, Ю.Н. Ротанова // *Электротехнические системы и комплексы*. – 2005. – № 10. – С. 129–134.

3. *Влияние высоковольтных двигателей собственных нужд на надежность системы электроснабжения собственных нужд ТЭЦ ОАО «ММК»* / А.В. Малафеев, О.И. Карандаева, Ю.Н. Ротанова, О.В. Буланова // *Электротехнические системы и комплексы*. – 2009. – № 17. – С. 96–104.

4. *Методика прогнозирования остаточного ресурса электрооборудования при эксплуатации* / К.Э. Одинцов, Ю.Н. Ротанова, О.И. Карандаева и др. // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. – 2010. – № 3-1. – С. 192–198.

5. Cinnella, P. *Efficient Implementation of Short Fundamentals. Equations of State for Numerical Simulation of Dense Gas Flows* / P. Cinnella, S.J. Hercus // *Conference Paper of 42nd AIAA Thermophysics Conference, At Honolulu, Hawaii, Volume: AIAA 2011-3947*. – 2011. DOI 10.2514/6.2011-3947

6. *Quantification of Thermodynamic Uncertainties in Real Gas Flows* / P. Cinnella, P. Congedo, L. Parussini, L. Pediroda // *Int J Eng Syst Modell Simul*. – 2010. – P. 12–24. DOI:10.1504/ijesms.2010.031867

7. Nannan, N.R. *Advancements in Non-Classical Gas Dynamics. Ph.D. thesis* / N.R. Nannan. – Technische Universiteit Delft, 2009.

8. Zamfirescu, C. *Performance Investigation of High-Temperature Heat Pumps with Various BZT Working Fluids* / C. Zamfirescu, I. Dincer // *Thermochimica Acta*. – 2009. – P. 66–67. DOI: 10.1016/j.tca.2009.01.028

9. Cinnella, P. *Robust Optimization of Dense Gas Flows under Uncertain Operating Conditions* / P. Cinnella, S. Hercus // *Computers & Fluids*. – 2010. – P. 1893–1908. DOI: 10.1016/j.compfluid.2010.06.020

10. Cinnella, P. *Computationally Efficient Models for Numerical Simulation of Thermodynamically Complex Flows* / P. Cinnella, P. Congedo // 5th European Congress on Computational Methods in Applied Sciences & Engineering, Venice, Italy. – 2008. – P. 145.

11. Congedo, P. *Shape optimization for Dense Gas Flows in Turbine Cascades* / P. Congedo, P. Cinnella, C. Corre // *Proceedings of ICCFD 4*. – Springer Berlin Heidelberg, Ghent, Belgium, 2006. – pp. 555–560. DOI: 10.1007/978-3-540-92779-2\_87

12. Span, R. *TREND. Thermodynamic Reference and Engineering Data 2.0* / R. Span, T. Eckermann, S. Herrig et al. – 2015. – 125 p.

13. Venkatarathnam, G. *Identification of Fluid Phase Using Partial Derivatives of Pressure, Volume, and Temperature without Reference to Saturation Properties: Applications in Phase Equilibria Calculations* / G. Venkatarathnam, L. Oellrich // *Fluid Phase Equilibria*. – 2011. – No. 301 (2). – P. 225–233. DOI: 10.1016/j.fluid.2010.12.001

14. *Prediction of Transport Properties by Molecular Simulation: Methanol and Ethanol and Their Mixture* / G. Guevara-Carrion, C. Nieto-Draghi, J. Vrabec, H. Hasse // *J. Phys. Chem. B*. – 2008. – Vol. 112. – P. 16664–16674.

15. Архарова, А.Ю. *Разработка и анализ систем подогрева газа в детандер-генераторных установках: дис. ... канд. техн. наук* / А.Ю. Архарова. – М., 2006. – 187 с.

16. Байдакова, Ю.О. *Исследование эффективности схем бестопливных установок генерации электроэнергии на основе детандер-генераторных агрегатов и тепловых насосов: автореф. дис. ... канд. техн. наук* / Ю.О. Байдакова. – М., 2013. – 19 с.

17. Пат. 39937 Российская Федерация. *Детандер-генераторная установка* / Ю.М. Архаров, А.Ю. Архарова, В.С. Агабабов, А.В. Корягин; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «МЭИ (ТУ)». – № 2004110563/22; заявл. 08.04.2004; опубл. 20.08.2004, Бюл. № 1. – 9 с.

18. Кожиченков, В.С. *Повышение надежности электроснабжения конечных потребителей за счет применения детандер-генераторных установок на станциях понижения давления газа в Москве: автореф. дис. ... канд. техн. наук* / В.С. Кожиченков. – М., 2012. – 20 с.

19. Пат. 88781 Российская Федерация. *Детандер-генераторная установка* / В.С. Агабабов, Ю.О. Байдакова, У.И. Зенкина; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «МЭИ (ТУ)». – № 2009127053/22; заявл. 16.07.2009; опубл. 20.11.2009, Бюл. № 32. – 4 с.

20. Джураева, Е.В. *Исследование схем использования детандер-генераторных агрегатов в энергетике и системах газоснабжения: дис. ... канд. техн. наук* / Е.В. Джураева. – М., 2005. – 155 с.

**Урванов Сергей Викторович**, заместитель главного инженера по охране труда, промышленной и пожарной безопасности, ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург», Магнитогорское линейное производственное управление магистральных газопроводов (ЛПУМГ), г. Магнитогорск; dr\_serjo@mail.ru.

**Кондрашова Юлия Николаевна**, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск; rotjuil720@mail.ru.

**Газизова Ольга Викторовна**, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск; logan\_b\_7@mail.ru.

**Скворцов Денис Сергеевич**, магистрант кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск; igowm@yandex.ru.

*Поступила в редакцию 17 марта 2017 г.*

## DEVELOPMENT AND INVESTIGATION OF EXISTING OPPORTUNITIES OF DETANDER GENERATOR UNIT APPLICATION FOR GAS DISTRIBUTION STATION WITH THERMAL PUMP UNIT AS GAS HEATING SYSTEM

S.V. Urvanov, *dr\_serjo@mail.ru*,  
Yu.N. Kongrashova, *rotjuil720@mail.ru*,  
O.V. Gazizova, *logan\_b\_7@mail.ru*,  
D.S. Skvortsov, *irowm@yandex.ru*

LLC "Gazprom Transgaz Ekaterinburg", Magnitogorsk, Russian Federation,  
Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation

Development of resource saving technologies for existing energy sources is one of the priority tasks of the Energy Strategy of Russia which envisages the reduction of losses and costs at all stages of the technological process in the extraction, preparation and transportation of natural gas. To date, it is very promising to utilize the excess pressure energy of natural gas at gas distribution stations (GDS) with the help of expander systems. The solution of the problem of gas heating absence in the DHA can be the installation layout with heating due to the use of the gas heating system of the heat pump station.

*Keywords: expander-generator set, gas distribution station, heat pump installation.*

### References

1. Kulakov A.S., Popovskiy S.N. [Industry Review "Heat and Power Engineering in Russia 2012–2016. 10 Years Since the Beginning of Energy Reform"], 2016, no. 1, pp. 11–15. (in Russ.)
2. Bulanova O.V., Igumenshev V.A., Malafeev A.V., Rotanova Yu.N. [Research of Convergence of Calculation Method for the Set Modes of Electrical Power Supply Systems at Separate Operation with Power Supply System]. *Electrotechnical Systems and Complexes*, 2005, no. 10, pp. 129–134. (in Russ.)
3. Malafeev A.V., Karandaeva O.I., Rotanova Yu.N., Bulanova O.V. [Influence of High-Voltage Engines of Own Needs on Reliability of Electrical Power Supply System of Own Needs at CHPP of MMK, JSC]. *Electrotechnical Systems and Complexes*, 2009, no. 17, pp. 96–104. (in Russ.)
4. Odintsov K., Rotanova Yu., Karandayeva O., Mostovoy S., Shilyaev P. [Technique to Predict Electrical Equipment Operation Remaining Life]. *News of the Tula State University. Technical Science*, 2010, no. 3-1, pp. 192–198. (in Russ.)
5. Cinnella P., Hercus S.J. Efficient Implementation of Short Fundamentals. Equations of State for Numerical Simulation of Dense Gas Flows. *Conference Paper of 42nd AIAA Thermophysics Conference*, At Honolulu, Hawaii, vol. AIAA: 2011-3947, 2011. DOI 10.2514/6.2011-3947
6. Cinnella P., Congedo P., Parussini L., Pediroda L. Quantification of Thermodynamic Uncertainties in Real Gas Flows. *Int J Eng Syst Modell Simul.*, 2010, pp. 12–24. DOI:10.1504/ijesms.2010.031867
7. Nannan N.R. Advancements in Non-Classical Gas Dynamics. Ph.D. thesis. Technische Universiteit Delft, 2009, 20 p.
8. Zamfirescu C., Dincer I. Performance Investigation of High-Temperature Heat Pumps with Various BZT Working Fluids. *Thermochimica Acta*, 2009, pp. 66–77. DOI: 10.1016/j.tca.2009.01.028
9. Cinnella P., Hercus S. Robust Optimization of Dense Gas Flows under Uncertain Operating Conditions. *Computers & Fluids*, 2010, pp. 1893–1908. DOI: 10.1016/j.compfluid.2010.06.020
10. Cinnella P., Congedo P. Computationally Efficient Models for Numerical Simulation of Thermodynamically Complex Flows. *5th European Congress on Computational Methods in Applied Sciences & Engineering, Venice, Italy*, 2008, p. 145.
11. Congedo P., Cinnella P., Corre C. Shape Optimization for Dense Gas Flows in Turbine Cascades. *Proceedings of ICCFD 4*. Springer Berlin Heidelberg, Ghent, Belgium, 2006, pp. 555–560. DOI: 10.1007/978-3-540-92779-2\_87
12. Span R., Eckermann T., Herrig S., Hielscher S., Thol, M. TREND. Thermodynamic Reference and Engineering Data 2.0., 2015, 125 p.
13. Venkatarathnam G., Oellrich L. Identification of Fluid Phase Using Partial Derivatives of Pressure, Volume, and Temperature without Reference to Saturation Properties: Applications in Phase Equilibria Calculations. *Fluid Phase Equilibria*, 2011, no. 301 (2), pp. 225–233. DOI: 10.1016/j.fluid.2010.12.001



14. Guevara-Carrion G., Nieto-Draghi C., Vrabec J., Hasse H. Prediction of Transport Properties by Molecular Simulation: Methanol and Ethanol and Their Mixture. *J. Phys. Chem. B*, 2008, vol. 112, pp. 16664–16674.

15. Arkharova A.Yu. *Razrabotka i analiz sistem podogreva gaza v detander-generatornykh ustanovkakh: dis. ... kand. tekhn. nauk* [Development and Analysis of Gas Heating Systems in Expander-Generator Sets. Cand. sci. diss.]. Moscow, 2006. 187 p.

16. Baydakova Yu.O. *Issledovanie effektivnosti skhem bestoplivnykh ustanovok generatsii elektroenergii na osnove detander-generatornykh agregatov i teplovykh nasosov: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* [Investigation of Efficiency of Fuel-Free Power Generation Facilities Schemes of Based on Expander-Generator Sets and Heat Pumps. Abstract of Cand. sci. diss.]. Moscow, 2013. 19 p.

17. Arkharov Yu.M., Arkharova A.Yu., Agababov V.S., Koryagin A.V. Expander-Generator Set. Patent RF, no. 39937, 2004.

18. Kozhichenkov V.S. *Povyshenie nadezhnosti elektrosnabzheniya konechnykh potrebiteley za schet primeneniya detander – generatornykh ustanovok na stantsiyakh ponizheniya davleniya gaza v Moskve: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* [Improving the Reliability of Power Supply to End Consumers Through the Use of Expander-Generator Sets at Gas Pressure Reduction Stations in Moscow. Abstract of Cand. sci. diss.]. Moscow, 2012. 20 p.

19. Agababov V.S., Baidakova Yu.O., Zenkina UI. Expander-Generator. Patent RF, no. 88781, 2009.

20. Dzhuraeva E.V. *Issledovanie skhem ispol'zovaniya detander-generatornykh agregatov v energetike i sistemakh gazosnabzheniya: dis. ... kand. tekhn. nauk* [Research of Schemes for Expander - Generator Aggregates Use in Power and Gas Supply Systems. Cand. sci. diss.]. Moscow, 2005. 155 p.

*Received 17 March 2017*

---

#### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Разработка и исследование существующих возможностей применения детандер-генераторного агрегата для газораспределительной станции с использованием в качестве системы подогрева газа тепловой насосной установки / С.В. Урванов, Ю.Н. Кондрашова, О.В. Газизова, Д.С. Скворцов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2017. – Т. 17, № 2. – С. 5–13. DOI: 10.14529/power170201

#### FOR CITATION

Urvanov S.V., Kongrashova Yu.N., Gazizova O.V., Skvortsov D.S. Development and Investigation of Existing Opportunities of Detander Generator Unit Application for Gas Distribution Station with Thermal Pump Unit as Gas Heating System. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*, 2017, vol. 17, no. 2, pp. 5–13. (in Russ.) DOI: 10.14529/power170201