DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-9-104-114

[1,*]***Колос Э.М.***, [2]***Малышев И.И.***, [2]***Глобенко С.А.***, [1]***Сергеев Э.***, [1]***Ишкуватов Р.Р.***, [1]***Кроткова И.Л.***

[1]*Российский государственный университет нефти и газа (Национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина*

[2]*Дальневосточный федеральный университет*

**E-mail: kolos.edvard@yandex.ru*

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ НА ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СТАНЦИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТУРБОДЕТАНДЕРОВ: МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ

Аннотация. *В статье рассматривается актуальная проблема оптимизации энергопотребления на газораспределительных станциях (ГРС) с использованием турбодетандеров. Большая часть потенциальной энергии сжатого газа, передаваемой ему на компрессорных станциях магистрального газопровода, традиционно расходуется в процессе редуцирования. В контексте мирового движения к энергосбережению и в соответствии с энергетической стратегией Российской Федерации, всё более актуальным становится вопрос утилизации энергии, высвобождаемой при редуцировании. Турбодетандеры позволяют преобразовать эту энергию в электрическую, которая может быть использована для хозяйственных нужд ГРС или для подогрева газа, предотвращая гидратообразование. В статье представлена компьютерная модель, разработанная для анализа работы турбодетандеров на ГРС. Модель позволяет рассчитать энергетический баланс станции, а также определить температуру газа после дросселирования в турбодетандере. В результате параметрического анализа установлено, что при предложенной схеме работы ГРС возможно получить профицит энергии в размере 11 %, при этом поддерживая температуру газа на выходе свыше 10 °С, посредством варьирования входных параметров (давления, расхода, температуры газа) установлена специфическая рабочая зона для задаваемых наборов параметров. Проведённые расчёты демонстрируют, что использование турбодетандеров не только повышает энергоэффективность ГРС, но и обеспечивает соблюдение нормативных требований к температуре газа на выходе. Результаты исследования подтверждают целесообразность внедрения турбодетандеров на газораспределительных станциях как эффективного инструмента для энергосбережения и повышения устойчивости работы газотранспортных систем.*

Ключевые слова *газораспределительная станция (ГРС), турбодетандер, энергосбережение, редуцирование газа, энергетический баланс, компьютерное моделирование, утилизация энергии, гидратообразование, подогрев газа, энергоэффективность.*

Введение. Современные вызовы, связанные с глобальным изменением климата, истощением природных ресурсов и необходимостью перехода к устойчивому развитию, обуславливают повышенное внимание к вопросам энергосбережения и повышения энергоэффективности во всех отраслях экономики. В энергетической сфере, особенно в газовой промышленности, значительные объемы энергии теряются на этапах транспортировки и распределения природного газа. Одной из ключевых точек потерь являются газораспределительные станции (ГРС), где большая часть потенциальной энергии сжатого газа, передаваемой ему на компрессорных станциях магистральных газопроводов, расходуется в процессе редуцирования. Традиционные регуляторы давления, используемые для снижения давления газа до требуемых параметров, не предусматривают утилизацию энергии расширяемого газа, что приводит к нерациональному использованию энергетического потенциала и увеличению эксплуатационных затрат.

В условиях мирового движения к энергосбережению и в рамках реализации Энергетической стратегии Российской Федерации, направленной на снижение энергоемкости экономики и повышение эффективности использования энергоресурсов, актуальным становится внедрение инновационных технологий, позволяющих утилизировать энергию, высвобождаемую при редуцировании газа. Одним из наиболее перспективных решений является замена традиционных регуляторов давления на турбодетандеры (ТД) [1, 2], [3]. Эти устройства преобразуют энергию расширяемого газа в механическую, а затем в электрическую с помощью генератора [4–6]. Полученная электроэнергия может быть использована для собственных нужд ГРС, таких как подогрев газа для предотвращения гидратообразования, что особенно важно в условиях низких температур, или для обеспечения работы вспомогательного оборудования [7]. Необходимость подогрева

обоснована опасностью возникновения кристаллогидратов в трубопроводах ГРС при значительном снижении температуры [8].

Использование ТД не только позволяет повысить энергоэффективность работы ГРС, но и способствует снижению эксплуатационных затрат за счет уменьшения потребления внешней электроэнергии. Кроме того, утилизация энергии расширяемого газа помогает избежать сжигания излишков газа, что снижает выбросы вредных веществ в атмосферу и способствует повышению экологической устойчивости объектов газовой инфраструктуры [9].

Согласно исследованиям, внедрение ТД на объектах газотранспортной системы теоретически может обеспечить экономию 11 % транспортируемого газа, затрачиваемого на выработку тепловой и электрической энергии [10].

Одной из проблем внедрения ТД на ГРС является достижение положительного энергетического баланса: при простой схеме с ТД и подогревателем газа возникает дефицит энергии [1], который необходимо компенсировать потреблением из электросетей, что, в свою очередь, негативно сказывается на экономических показателях подобных проектов. В связи с этим рядом авторов предлагается ряд различных решений с целью повышения эффективности подогрева.

Предлагается решение, при котором исходный поток подвергается двойному расширению и промежуточной передаче тепла от одного к другому в теплообменном аппарате, или расширению и компримированию разделенных потоков с последующей передачей тепла от нагретого в компрессоре газа к охлажденному в ТД [11]. Кроме того, рассматривается применение тепловых насосов [7, 1212].

Основным вопросом остается влияние неравномерности производительности ГРС в течение суток, сезонного изменения температуры, а также влияние величины входного давления на эффективность оснащения ГРС ТД [13].

В данной статье рассматриваются вопросы оптимизации энергопотребления на газораспределительных станциях с использованием ТД. Проведено моделирование и анализ процессов, связанных с утилизацией энергии при редуцировании газа, а также оценена эффективность использования высвобождаемой энергии для производства электроэнергии и подогрева газа. Предложены рекомендации по внедрению ТД на ГРС, что позволит не только снизить энергопотери, но и повысить общую энергоэффективность газотранспортной системы. Результаты исследования имеют важное практическое значение для газовой отрасли и могут быть использованы при разработке стратегий повышения энергоэффективности и снижения экологической нагрузки.

Целью исследования выступает обоснование эффективности внедрения ТД на ГРС, при условии нестабильности параметров работы самой станции. Задачами исследования выступают создание компьютерной модели работы ГРС, апробация ее работы, а также проведение параметрического анализа посредством варьирования ее входных данных. Основными вопросами исследования выступают:

1. Возможна ли организация автономного энергоснабжения ГРС на основе генерации энергии ТД?

2. Возможно ли заменить стандартные электрические нагреватели более эффективными тепловыми машинами для подогрева газа на ГРС?

3. Возможно ли поддержание эффективной работы ТД при нестабильности входных параметров ГРС: давления, температуры, расхода?

Методами исследования выступают аналитический, дедуктивный, экспериментальный и сравнительный.

Материалы и методы. Предлагаемая схема работы ГРС представлена на рис. 1. При такой конфигурации ТД функционирует при стационарном режиме работы станции, а при резком изменении давления газа на входе происходит переключение на байпасную линию, на которой установлен стандартный регулятор.

При такой конфигурации электрическая энергия, вырабатываемая ТД, расходуется на собственные нужды ГРС:

1. Блоком подогрева газа;

2. Системой автоматики или телемеханики ГРС;

3. Системами освещения, пожаротушения и сигнализации;

4. Отопление помещений ГРС.

Кроме того, излишняя энергия может передаваться в единую энергосистему, а также для энергоснабжения объектов линейной части магистральных газопроводов и газораспределительных сетей. В случае присутствия на ГРС высокой суточной неравномерности расхода или давления, избыточная энергия может накапливаться аккумуляторными блоками.

В процессе дросселирования поток газа снижает свою температуру в результате эффекта Джоуля-Томсона [14], при этом относительное уменьшение температуры на единицу редуцируемого давления описывается коэффициентом Джоуля-Томсона, D_i, К/МПа, рассчитываемым по следующей зависимости [15]:

$$D_i = \frac{1}{c_p} \cdot \left(0{,}98 \cdot \frac{10^6}{T^3} - 0{,}5\right) \quad (1)$$

где c_p – удельная изобарная теплоемкость газа, определяемая для средних значений давления и температуры, кДж/(кг·К); T – температура газа, К.

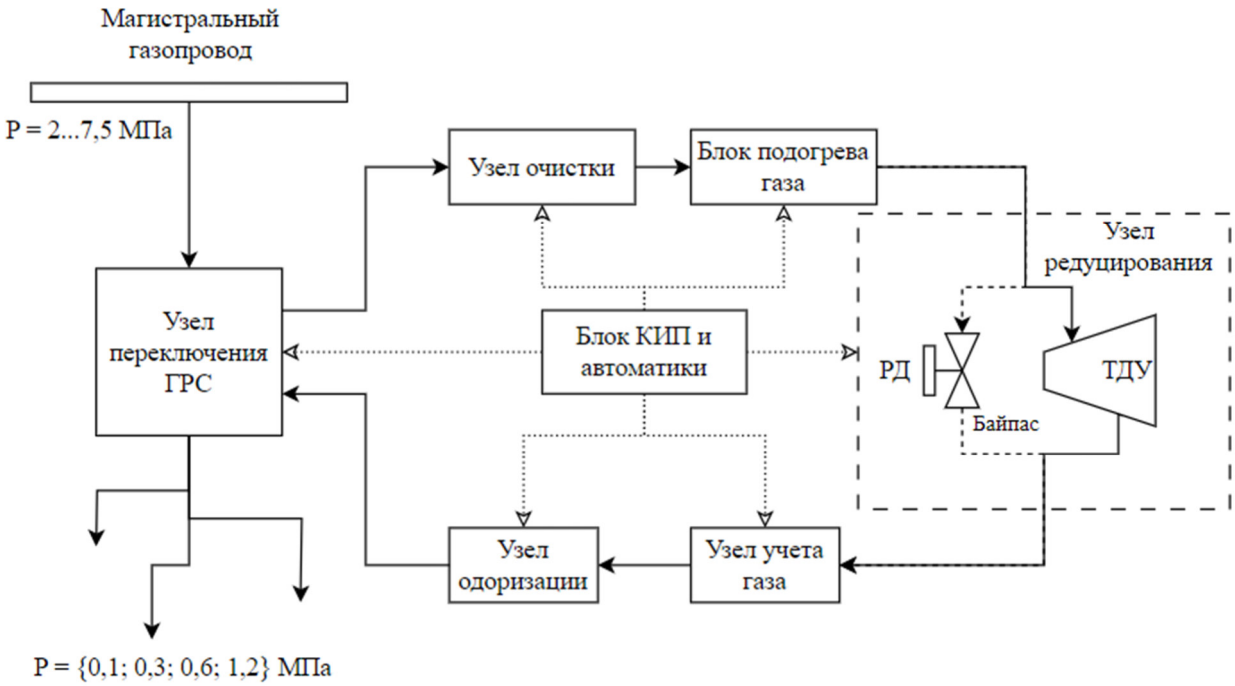

Рис. 1. Принципиальная схема технологического процесса на ГРС с ТД

С учетом описанных выше условий, снижение температуры газа в ходе дросселирования:

$$\Delta T = D_i \cdot (P_{вх} - P_{вых}) \qquad (2)$$

где $P_{вх}$, $P_{вых}$ – давление на входе и выходе ТД, МПа.

При расширении газа в ТД механическая энергия на валу электрогенератора, в кДж, определяется по формуле:

$$W_{ТД} = \eta_{ТД} \cdot G \cdot (h_1 - h_2) \qquad (3)$$

где $\eta_{ТД}$ – КПД ТД, G – массовый расход через ТД, кг/сек; h_1, h_2 – удельная энтальпия газа до и после расширения (кДж/кг).

Однако, для практических расчетов удобнее использовать технические параметры, которые легко измерить и вычислить: давление, температуру, объемный расход. Кроме того, необходимо принимать во внимание КПД механической передачи от ТД к электрогенератору и КПД электрогенератор. Таким образом, формула (3) приобретает вид:

$$W_{\text{ТД}} = \eta_{\text{ТД}} \cdot \eta_{\text{мех}} \cdot \eta_{\text{ген}} \cdot Q_{\text{н}} \cdot \frac{k}{k-1} \cdot R \cdot T_{\text{вх}} \cdot \left[1 - \left(\frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right] \qquad (4)$$

где $\eta_{мех}$ – КПД механической передачи; $\eta_{ген}$ – КПД электрогенератора; $Q_н$ – нормальный объемный расход, нм^3/сек; R – удельная газовая постоянная, кДж/(кг · К); k – показатель адиабаты.

В настоящее время на большинстве ГРС для подогрева газа с целью предотвращения гидратообразования используется природный газ, отбираемый из общего потока. Согласно требованиям СТО Газпром 2-3.5-051-2006, на выходе ГРС должна обеспечиваться температура газового потока не менее 10 °С, на пучинистых грунтах – 0 °С. Замена горючего газа на собственную генерацию ГРС позволит повысить энергоэффективность системы.

Уравнение баланса энергии ГРС в таком случае выглядит следующим образом:

$$W_{ТД} + W_{ЭС} = W_{ГРС} + W_{ПГ} + W_{вс} \qquad (5)$$

где $W_{ЭС}$, $W_{ГРС}$, $W_{ПГ}$, $W_{вс}$ – соответственно дефицит энергии, потребляемый из единой энергосистемы; энергопотребление ГРС; затраты энергии на подогрев газа; энергопотребление вспомогательных процессов ГРС (КИПиА, сигнализация, освещение, отопление, суммарная пиковая мощность которых принята равной 20 кВт), в кВт.

Оценку энергобаланса ГРС, с точки зрения возможности обеспечения автономной работы с ТД, предлагается проводить по относительному показателю, численно равному ($W_{ТД}/W_{ГРС}$) · 100 %. Целевым значением выступает величина показателя более 100 %, при которой возможна организация автономной работы ГРС.

Основная часть. Анализ процесса дросселирования производился на основе компьютерной модели (рис. 2), выполненной в ПО DWSIM

[16]. Входные данные моделирования представлены в таблице 1. Исходный поток природного газа из магистрального газопровода (из МГ) под давлением 3 МПа и с температурой 5 °С попадает в кожухотрубный теплообменник теплового насоса ТА, повышая свою температуру до 59,3 °С, после чего – в турбодетандер ТД, где расширяется до 1,2 МПа, снижая свою температуру на 46,6 °С. В сеть высокого давления (в СВД) газ подается при давлении 1,2 МПа и температуре порядка 10…15 °С. В тепловой машине теплоноситель (углекислый газ) циркулирует по контуру: компрессор К – теплообменник ТА – дроссель Др – испаритель Х. Параметры потоков цикла теплового насоса приведены в таблице 2.

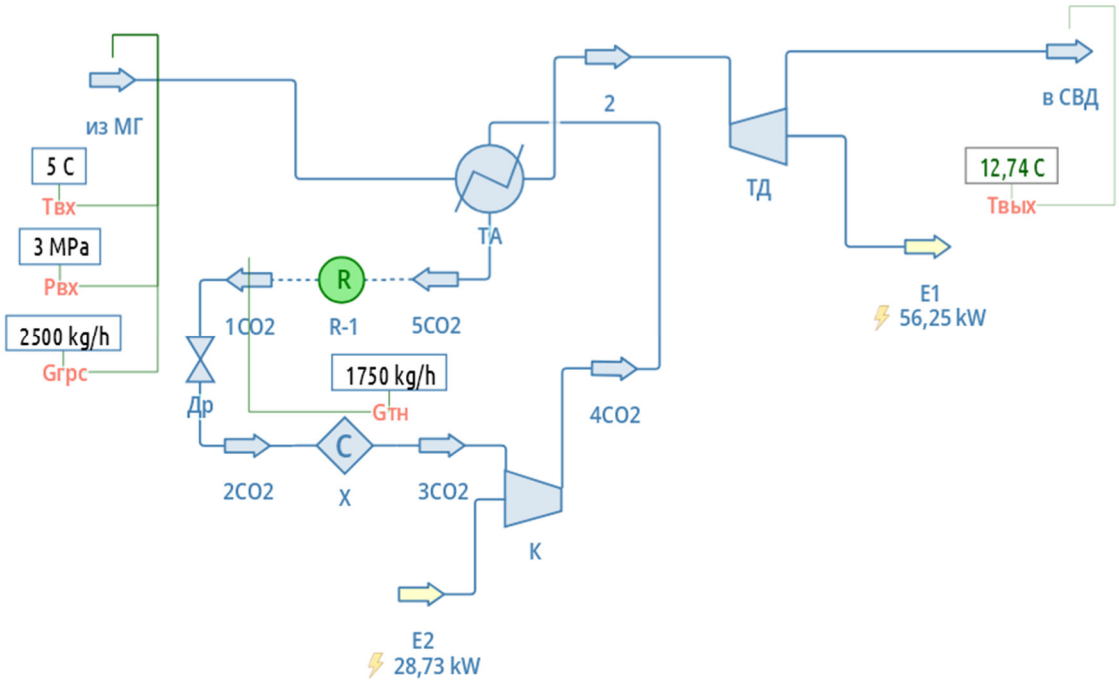

Рис. 2. Модель процессов подогрева и расширения газа на ГРС

Таблица 1

Исходные данные моделирования

№ п/п	Наименование показателя	Обозначение	Единицы измерения	Значение
1.	Состав природного газа: C1 C2 C3 n-C4 i-C4	$r_1, r_2, \ldots, r_i$	% об.	 91,23 5,93 2,03 0,43 0,38
2.	Производительность ГРС	$G_{ГРС}$	кг/ч	2500
3.	Расход теплоносителя	$G_{ТН}$	кг/ч	1650
4.	Температура газа на входе	$T_{вх}$	К	278,15
5.	КПД турбодетандера	$\eta_{ТД}$	-	0,7
6.	КПД теплообменного аппарата	$\eta_{ТА}$	-	0,6

Таблица 2

Параметры цикла теплового насоса

Обозначение объекта	Расшифровка	Давление, МПа	Температура, °С	Доля жидкой фазы, % мольн.
1CO2	Газ на выходе из теплообменника ТА	8	33,49	100
2CO2	Дросселированный газ из дросселя Др	3	-5,63	43,53
3CO2	Газ из испарителя Х	3	5,00	0
4CO2	Компримированный газ из компрессора К	8	97,06	0

Таким образом, при заданном наборе исходных параметров, потребляемая компрессором теплового насоса К энергия составляет 28,73 кВт·ч, а вырабатываемая на приводе ТД – 51,87 кВт·ч. Тепловая машина позволяет достичь достаточного нагрева газа, чтобы предотвратить

его охлаждения до критически низкой температуры после расширения в ТД.

Следует также отметить, что модель не учитывает расхода энергии на работу испарителя X, так как принято допущение, согласно которому суммарный пиковый поток энергии для обеспечения всех вспомогательных процессов принимается равным 20 кВт·ч.

По результатам моделирования можно заключить, что энергобаланс ГРС при заданных условиях положительный: выработка газа на ТД покрывает суммарные потребности комплекса, создавая профицит генерации в размере 11 %. Кроме того, на выходе ГРС обеспечивается соответствующая нормативным требованиям температура (12,74 °С), следовательно, моделирование демонстрирует положительный результат внедрения ТД на ГРС.

На следующем этапе работы необходимо изучить восприимчивость предложенной схемы к изменению входных макропараметров: давления, температуры и расхода газа. Для варьирования указанных показателей использованы блоки ввода, предлагаемые набором инструментов ПО DWSIM, для настройки параметров работы теплового цикла CO_2 использованы блоки-контроллеры, которые настраивались на изменение двух параметров: расхода теплоносителя и давления на выходе компрессора (поз. К на рис. 2). Рассмотрены два сценария: с регулированием параметров и без. В первом случае ключевым параметром регулирования выступает расход теплоносителя. Целью анализа выступает определение:

1. Эффективной области работы ТД на ГРС – зоны, в которой обеспечивается профицит генерируемой энергии;

2. Допустимой области работы – зоны, где соблюдается порог температуры на выходе ТД.

Первоначально произведена регистрация параметров модели при различных величинах входного давления в интервале 2…4,5 МПа с шагом 0,5 МПа. В ходе анализа параметры, заданные блоком-контроллером, корректировались для достижения наименьшего расхода теплоносителя. В ходе моделирования требуемый показатель температуры на выходе установлен на уровне 15 °С. Результаты анализа для энергетического баланса и температуры на выходе приведены на рис. 3, 4.

Представленные зависимости отображают эффективность работы конфигурации ГРС с применением ТД и теплового насоса. В первом (базовом) варианте рабочие параметры системы остаются неизменными, однако варьируются параметры, задаваемые потоку газа из МГ. Для этого варианта получены кривые зависимостей энергобаланса и температуры на выходе ГРС (для всех графиков обозначены треугольными маркерами). Заметна прямая пропорциональность возрастания профицита энергии в системе при увеличении входного давления, за счет роста величины расширяемого давления, что подтверждается формулой (4), где величина энергии, вырабатываемой ТД пропорциональна величине давления на входе. Влияние температуры газа на входе на показатели работы можно описать следующими тезисами:

1. С увеличением температуры газа на входе растет выработка газа в ТД, так как увеличивается энтальпия газа, что соответствует формуле (3).

2. Влияние разницы температуры на величину энергобаланса становится более значительным при увеличении величины мощности на валу ТД.

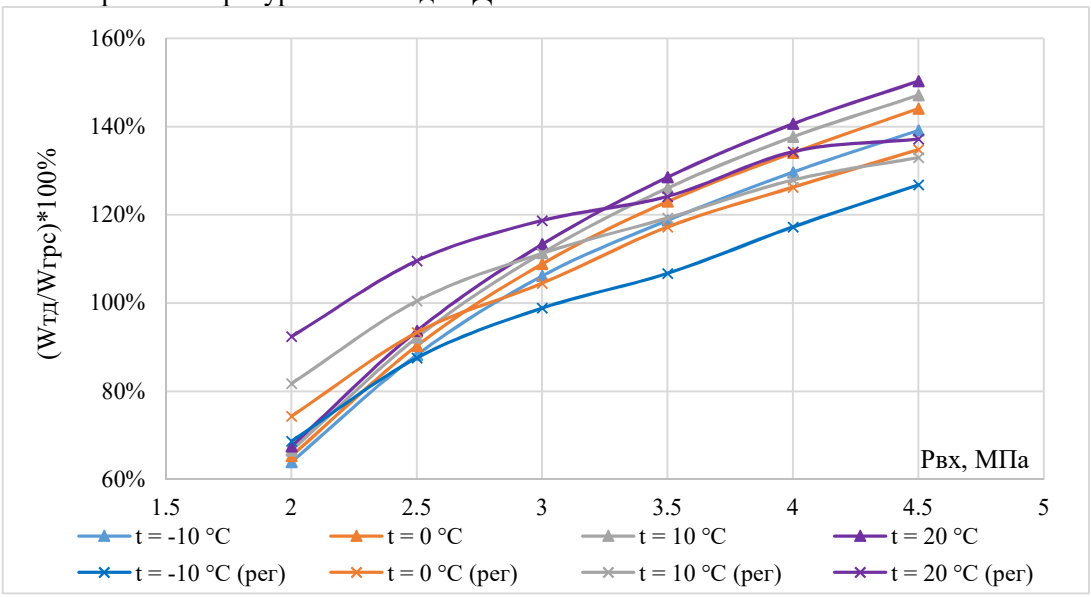

Рис. 3. Зависимость энергобаланса ГРС от величины входного давления при различных температурах

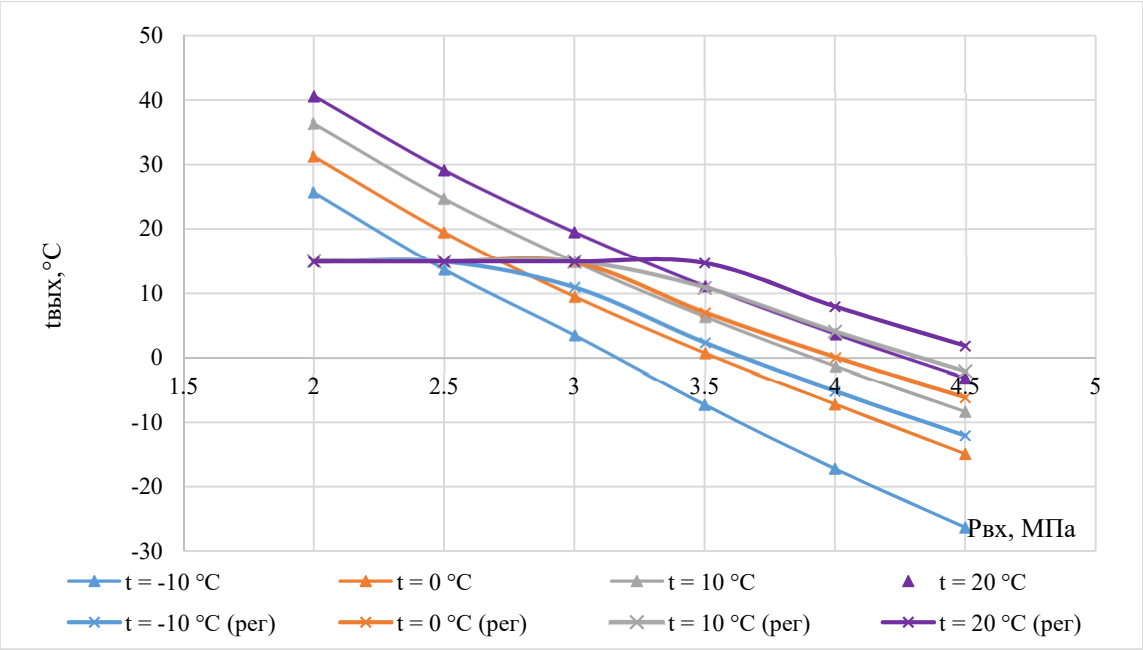

Рис. 4. Зависимость температуры газа на выходе ТД от величины входного давления при различных температурах

Во втором варианте, которому соответствуют кривые с х-образными маркерами, было применено регулирование системы посредством изменения расхода теплоносителя при неизменных рабочих параметрах цикла теплового насоса. Одинаковые цвета кривых в обоих вариантах соответствуют определенному значению температуры на входе. В случае энергобаланса, зависимость становится более пологой, исходя из чего можно сделать вывод, что для поддержания стабильности работы системы в условиях значительных перепадов давления целесообразно применять механизмы регулирования и настройки работы теплового насоса.

С точки зрения температуры газа на выходе, можно заключить о наличии зоны допустимого применения комбинации ТД и теплового насоса (правая часть графика, в которой температура на выходе остается постоянной и равной приблизительно 15 °C). В этой зоне предложенный алгоритм регулирования снижает расход теплоносителя до минимального необходимого, позволяя достичь оптимального энергобаланса. В связи с этим на графике энергобаланса кривые зависимостей в этой зоне проходят выше, чем для базового (нерегулируемого) варианта. Вторая зона графика – зона недопустимой работы (для 20 °C – при давлении свыше 3,5 МПа, для -10 °C – 3 МПа). В этой зоне снижение температуры вследствие дросселирования газа никак не может быть компенсировано подогревом от теплового насоса, а следовательно, не соблюдается главное условие работоспособности системы – наличие температуры на выходе ГРС не менее 10 °C. При этом, чем выше температура поступающего газа, тем шире зона допустимой работы системы. Однако, увеличение производительности по теплоносителю ведет к увеличению потребляемой мощности компрессора, что вызывает снижение значения энергобаланса.

На следующем этапе исследовалось влияние колебаний часового расхода ГРС на работоспособность системы. Значения рассчитаны для температуры газа на входе 5 °C. Расход газа задавался в интервале 500…3000 кг/час с шагом 500 кг/час. Результаты определения температуры на выходе и энергобаланса приведены на рис. 5, 6.

Рассматривая зависимости, полученные для энергобаланса, можно заключить о том, что при расходах менее номинального (2500 кг/ч) алгоритм регулирования снижает расход теплоносителя, что позволяет повысить энергоэффективность работы системы в среднем на 5…10 %. При превышении расходом газа через ГРС номинального значения мощность теплового насоса увеличивается, таким образом, снижается энергоэффективность.

Основным условием симуляции в этом случае выступает неизменность давления. Анализируя зависимости, полученные для температуры на выходе ГРС, можно сделать вывод об эффективности регулирования системы на всем рассматриваемом интервале значений расхода газа через ГРС, в то время как при базовом варианте при расходе 2530 кг/ч температура газа на выходе становится ниже 10 °C.

Таким образом, предположенная компоновка ГРС с параллельным размещением ТД и классического регулятора давления обусловлена наличием ограниченной эффективной зоны ТД,

за пределами которой его применение нецелесообразно, то есть основной поток газа может быть перенаправлен на регулятор. Границы зоны сильно варьируются в зависимости от температуры на входе, однако, можно рассуждать, что диапазон для возможного регулирования составляет от 0,5 до 1,5 МПа в обе стороны от номинальной величины. Диапазон эффективной работы ТД зачастую гораздо уже и находится ближе к максимальным значениям входного давления, так как появляется возможность эффективно использовать возросший перепад на ТД.

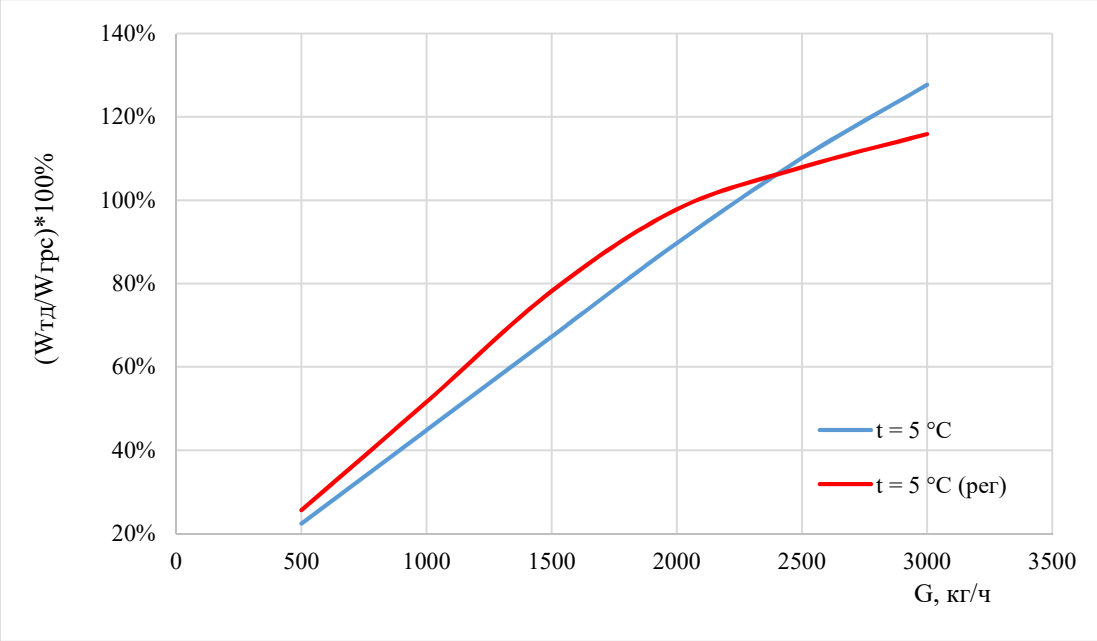

Рис. 5. Зависимость энергобаланса ГРС от величины ее производительности

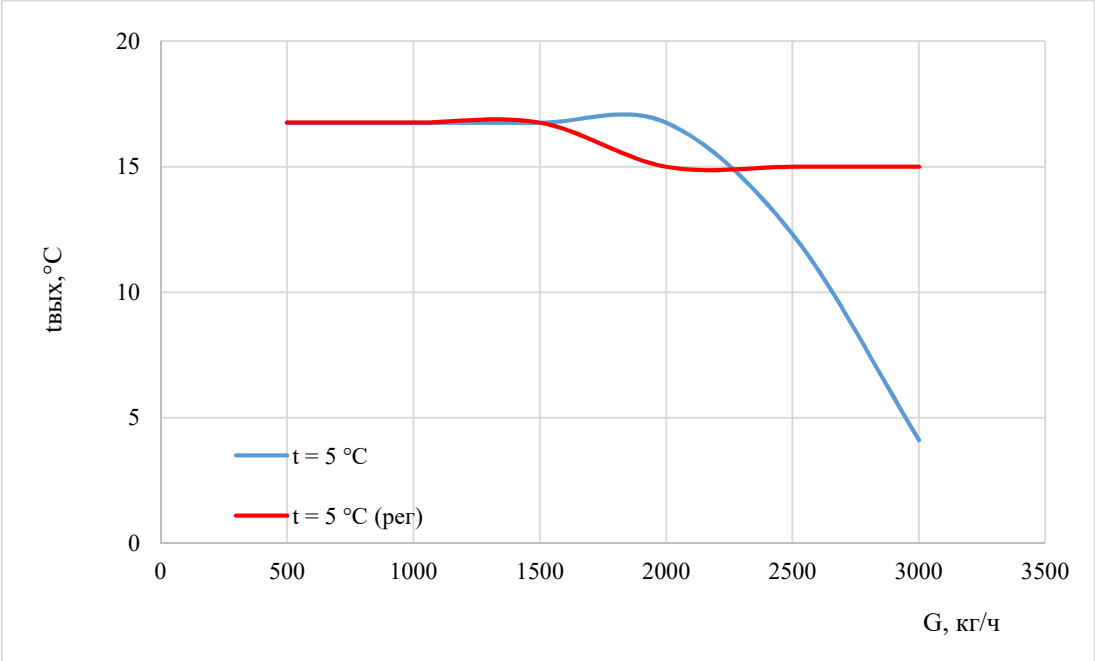

Рис. 6. Зависимость температуры газа на выходе ТД от величины производительности ГРС

Выводы. Проведенное исследование и моделирование процессов на газораспределительных станциях (ГРС) с использованием ТД подтвердили высокую эффективность данного подхода для оптимизации энергопотребления и утилизации энергии, выделяемой при редуцировании газа. Основные выводы работы можно сформулировать следующим образом:

1. Внедрение ТД на ГРС позволяет преобразовывать потенциальную энергию сжатого газа в механическую работу, которая может быть использована для выработки электроэнергии. Это способствует значительному снижению энергопотерь и повышению общей энергоэффективности газотранспортной системы. Моделирование показало, что при заданных условиях выработка

энергии на ТД покрывает суммарные потребности ГРС, создавая профицит генерации в размере 11 %.

2. Использование ТД в сочетании с системами подогрева газа позволяет поддерживать температуру на выходе ГРС в соответствии с нормативными требованиями (не менее 10 °C). Это предотвращает образование гидратов, которые могут привести к закупорке трубопроводов и нарушению работы системы.

3. Замена традиционного сжигания газа для подогрева на использование энергии, вырабатываемой ТД, способствует снижению выбросов вредных веществ в атмосферу. Это соответствует современным требованиям экологической безопасности и устойчивого развития.

4. Предложенная схема работы ГРС с ТД демонстрирует устойчивость к изменениям входных параметров, таких как давление, температура и расход газа. Моделирование показало, что система способна эффективно функционировать в широком диапазоне условий, обеспечивая как профицит генерируемой энергии, так и соблюдение температурных требований на выходе.

5. Расширить рабочую зону ТД можно, применив регулирование рабочего цикла тепловой машины по следующим параметрам: степень сжатия в компрессоре и расход теплоносителя. Такие меры позволят поддерживать заданную температуру газа на выходе из ТД.

6. Результаты исследования подтверждают, что использование ТД на ГРС является перспективным направлением для повышения энергоэффективности и снижения экологической нагрузки. Предложенные рекомендации могут быть использованы при разработке стратегий модернизации газотранспортной инфраструктуры.

Внедрение ТД на газораспределительных станциях представляет собой эффективное решение для оптимизации энергопотребления, повышения энергоэффективности и снижения экологического воздействия. Полученные результаты имеют важное практическое значение и могут быть использованы для дальнейшего развития газовой отрасли в рамках реализации энергетической стратегии Российской Федерации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зацепин С.С., Купцов С.М. Применение турбодетандерных установок на газораспределительных станциях // Территория Нефтегаз. 2016. №12. С. 50–53.

2. Микаэлян Э. А. Модернизация газораспределительных систем с применением утилизационных турбодетандерных установок // Территория Нефтегаз. 2015. №9. С. 36–39.

3. Al-Ismail F.S. A comprehensive and critical review on integrated electric power and gas networks,' IEEE Access. 2024. Vol. 12. Pp. 143042–143057.

4. Gas turboexpanders // Ipieca. 2023. [Электронный ресурс]. URL: https://www.ipieca.org/resources/energy-efficiency-compendium/gas-turboexpanders-2023 (дата обращения: 06.02.2025)

5. Воронов В.А., Самигуллин Г.Х., Рузманов А.Ю. Повышение энергетических характеристик газораспределительной станции путем применения турбодетандера // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. №4 (58). С. 1–5

6. Черных А.П. Использование турбинного привода для получения электроэнергии и тепла на объектах газовой промышленности // Газовая промышленность. 2017. No. 2 (748). С. 82–88.

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

8. Капыш В.В., Кулемин Н.В., Истомин В.А. Предупреждение гидратобразования в газопроводах-отводах и на газораспределительных станциях // Вести газовой науки. 2013. №. 4 (15). С. 125–131.

9. Керимов И.А., Саидов А.А., Батаев Д.К., Дебиев М.В. Экономические аспекты использования детандер-генераторных агрегатов в системе газовых сетей Чеченской Республики // Вестник российских университетов. Математика. 2012. №2. С. 786–790.

10.Lehman B., Worrell E., Electricity Production from Natural Gas Pressure Recovery Using Expansion Turbines // Engineering, Environmental Science. 2009. Pp. 43–54.

11.Li Z.-D., Cheng Q.-L., Chen Y.-W., Wei J.-D., Li-Li Lv, Wu H., Liu Y. Electric power generation technology of natural gas pressure reduction: Insights from black box-gray box hierarchical exergy analysis and evaluation method // Petroleum science. 2022. No. 19(1). Pp.329–338.

12.Александров А.А., Агабабов В.С., Джураева Е.В., Корягин А.В., Утенков В.Ф. Анализ совместной работы детандар-генераторного агрегата и теплового насоса // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2004. № 7(8). С. 50–60.

13.Kuczyński S., Łaciak M., Olijnyk A., Szurlej A., Włodek T. Techno-Economic assessment of turboexpander application at natural gas regulation stations // Energies. 2019. No. 12(4). 755.

14.Çengel Y.A., Boles M.A., Kanoglu M. Thermodynamics: an Engineering Approach. 9th ed. New York: Mcgraw-Hill Education, 2019. 984 p.

15.Коршак А.А. Газораспределение: учебник для вузов. Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2022. 596 с.

16. DWSIM – Open-Source Chemical Process Simulator [Электронный ресурс]. URL: https://dwsim.org/ (дата обращения: 06.02.2025).

Информация об авторах

Колос Эдвард Михайлович, студент магистратуры кафедры сооружения и ремонта газонефтепроводов и хранилищ. E-mail: kolos.edvard@yandex.ru. Российский государственный университет нефти и газа (Национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина.
Россия, 119991, Москва, Ленинский пр., д. 65к1.

Малышев Илья Игоревич, студент магистратуры департамента нефтегазовых технологий и нефтехимии. E-mail: kolos.edvard@yandex.ru. Дальневосточный федеральный университет.
Россия, 690922, Владивосток, о. Русский, п. Аякс, д. 10.

Глобенко Сергей Алексеевич, студент магистратуры департамента нефтегазовых технологий и нефтехимии. E-mail: kolos.edvard@yandex.ru. Дальневосточный федеральный университет.
Россия, 690922, Владивосток, о. Русский, п. Аякс, д. 10.

Сергеев Эдуард, студент магистратуры кафедры сооружения и ремонта газонефтепроводов и хранилищ. E-mail: ed.sergeyev.2002@mail.ru. Российский государственный университет нефти и газа (Национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина.
Россия, 119991, Москва, Ленинский пр., д. 65к1.

Ишкуватов Рустам Русланович, студент магистратуры кафедры сооружения и ремонта газонефтепроводов и хранилищ. E-mail: ishkuvatov.r@mail.ru. Российский государственный университет нефти и газа (Национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина.
Россия, 119991, Москва, Ленинский пр., д. 65к1

Кроткова Инна Леонидовна, студент магистратуры кафедры сооружения и ремонта газонефтепроводов и хранилищ. E-mail: innakrotkova@list.ru. Российский государственный университет нефти и газа (Национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина.
Россия, 119991, Москва, Ленинский пр., д. 65к1.

Поступила 06.02.2025 г.
© Колос Э.М., Малышев И.И., Глобенко С.А., Сергеев Э., Ишкуватов Р.Р., Кроткова И.Л., 2025

[1,]**Kolos E.M.**, *[2]**Malyshev I.I.**, *[2]**Globenko S.A.** *[1]**Sergeyev E.**, *[1]**Ishkuvatov R.R.**, *[1]**Krotkova I.L.***
[1]Gubkin Russian State University of Oil and Gas
[2]Far Eastern Federal University
**E-mail: kolos.edvard@yandex.ru*

OPTIMIZATION OF ENERGY CONSUMPTION AT GAS DISTRIBUTION STATIONS USING TURBOEXPANDERS: MODELING AND ANALYSIS

Abstract. *The article deals with the relevant problem of energy consumption optimization at gas regulation stations (GRS) using turboexpanders. Most of the potential energy of compressed gas transferred to it at compressor stations of the main gas pipeline is traditionally consumed in the process of reduction. In the context of the global movement towards energy saving and in accordance with the energy strategy of the Russian Federation, the issue of utilization of energy released during reduction is becoming more and more urgent. Turbodetanders make it possible to convert this energy into electrical energy, which can be used for economic needs of the gas distribution station or for gas heating, preventing hydrate formation. The article presents a computer model developed to analyze the operation of turboexpanders at GDS. The model allows to calculate the energy balance of the station, as well as to determine the gas temperature after throttling in the turboexpander. The calculations demonstrate that the use of turboexpanders not only increases the energy efficiency of the gas distribution station, but also ensures compliance with the regulatory requirements to the gas temperature at the outlet. The results of the study confirm the feasibility of introducing turboexpanders at gas distribution stations as an effective tool for energy saving and improving the stability of gas transportation*

systems.

Keywords: *gas regulation station (GRS), turboexpander, energy saving, gas reduction, energy balance, computer modeling, energy utilization, hydrate formation, gas heating, energy efficiency.*

REFERENCES

1. Zatsepin S.S., Kuptsov S.M. Application of turboexpander units at gas distribution stations [Primenenie turbodetandernyh ustanovok na gazoraspredelitel'nyh stanciyah]. Territory Neftegaz. 2016. No.12. Pp. 50–53. (rus)

2. Mikaelyan E.A. Modernization of gas distribution systems with the use of utilization turboexpander units. [Modernizaciya gazoraspredelitel'nyh sistem s primeneniem utilizacionnyh turbodetandernyh ustanovok] Territory Neftegaz. 2015. No. 9. Pp. 36–39. (rus)

3. Al-Ismail F.S. A comprehensive and critical review on integrated electric power and gas networks,' IEEE Access. 2024. Vol. 12. Pp. 143042–143057.

4. Gas turboexpanders. Ipieca. 2023. URL: https://www.ipieca.org/resources/energy-efficiency-compendium/gas-turboexpanders-2023. (accessed on 06.02.2025)

5. Voronov, V.A. Increase of energy characteristics of a gas distribution station by application of a turboexpander [Povyshenie energeticheskih harakteristik gazoraspredelitel'noj stancii putem primeneniya turbodetandera] International Research Journal. 2017. No. 4 (58). Pp. 1–5 (rus)

6. Chernykh A.P. Turbine drive utilization for electric power and heat generation at the gas industry facilities [Ispol'zovanie turbinnogo privoda dlya polucheniya elektroenergii i tepla na ob"ektah gazovoj promyshlennosti] Gas industry. 2017. No. 2 (748). Pp. 82–88. (rus)

7. Urvanov S.V., Kondrashova Y.N., Gazizova O.V., Skvortsov D.S. Development and study of the existing possibilities of application of a detander-generator unit for a gas distribution station using a heat pump unit as a gas heating system [Razrabotka i issledovanie sushchestvuyushchih vozmozhnostej primeneniya detander-generatornogo agregata dlya gazoraspredelitel'noj stancii s ispol'zovaniem v kachestve sistemy podogreva gaza teplovoj nasosnoj ustanovki] Bulletin of SUSU. Series: Energy. 2017. No. 2. Pp. 5–13. (rus)

8. Kapysh V.V., Kulemin N.V., Istomin V.A. Prevention of hydrate formation in gas pipeline branches and gas distribution stations [Preduprezhdenie gidratobrazovaniya v gazoprovodah-otvodah i na gazoraspredelitel'nyh stanciyah]. Bulletin of Gas Science. 2013. No. 4 (15). Pp. 125–131. (rus)

9. Kerimov I.A., Saidov A.A., Bataev D. K., Debiev M.V. Economic aspects of the use of detander-generator units in the system of gas networks of the Chechen Republic [Ekonomicheskie aspekty ispol'zovaniya detander-generatornyh agregatov v sisteme gazovyh setej CHechenskoj Respubliki]. Bulletin of Russian Universities. Mathematics. 2012. No. 2. Pp. 786–790. (rus)

10. Lehman B., Worrell E., Electricity Production from Natural Gas Pressure Recovery Using Expansion Turbines. Engineering, Environmental Science. 2009. Pp. 43–54.

11. Li Z.-D., Cheng Q.-L., Chen Y.-W., Wei J.-D., Li-Li Lv, Wu H., Liu Y. Electric power generation technology of natural gas pressure reduction: Insights from black box-gray box hierarchical exergy analysis and evaluation method. Petroleum science. 2022. No. 19(1). Pp. 329–338.

12. Aleksandrov A. A., Agababov V. S., Dzhuraeva E. V. V., Koryagin A. V. V., Utenkov V. F. Analysis of joint operation of a detandar-generator unit and a heat pump [Analiz sovmestnoj raboty detandar-generatornogo agregata i teplovogo nasosa]. Izvestiya Vuzov. Problems of power engineering. 2004. No. 7-8. Pp. 50–60. (rus)

13. Kuczyński S., Łaciak M., Olijnyk A., Szurlej A., Włodek T. Techno-Economic assessment of turboexpander application at natural gas regulation stations, Energies. 2019. No. 12(4). 755.

14. Çengel Y.A., Boles M.A., Kanoglu M. Thermodynamics: an Engineering Approach. 9th ed. New York: Mcgraw-Hill Education, 2019. 984 p.

15. Korshak A.A. Gas distribution: textbook for universities [Gazoraspredelenie: uchebnik dlya vuzov]. Moscow, Vologda: Infra-Engineering, 2022. 596 p. (rus)

16. DWSIM - Open-Source Chemical Process Simulator. URL: https://dwsim.org/ (accessed on 06.02.2025)

Information about the authors

Kolos, Edward M. Master student. E-mail: kolos.edva@yandex.ru Gubkin Russian State University of Oil and Gas. Russia, 119991, Moscow, Leninski Prospect, 65.

Malyshev, Ilya I. Master student. E-mail: malyshev.ii@dvfu.ru. Far Eastern Federal University. Russia, 690922, Vladivostok, Russky is., Ajax settlem., 10.

Globenko, Sergey A. Master student. E-mail: globenko.sa@students.dvfu.ru. Far Eastern Federal University. Russia, 690922, Vladivostok, Russky is., Ajax settlem., 10.

Sergeyev, Eduard. Master student. E-mail: ed.sergeyev.2002@mail.ru. Gubkin Russian State University of Oil and Gas. Russia, 119991, Moscow, Leninski Prospect, 65.

Ishkuvatov, Rustam R. Master student. E-mail: ishkuvatov.r@mail.ru. Gubkin Russian State University of Oil and Gas. Russia, 119991, Moscow, Leninski Prospect, 65.

Krotkova, Inna L. Master student. E-mail: innakrotkova@list.ru. Gubkin Russian State University of Oil and Gas. Russia, 119991, Moscow, Leninski Prospect, 65.

Received 06.02.2025

Для цитирования:
Колос Э.М., Малышев И.И., Глобенко С.А., Сергеев Э., Ишкуватов Р.Р., Кроткова И.Л. Оптимизация энергопотребления на газораспределительных станциях с использованием турбодетандеров: моделирование и анализ // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2025. № 9. С. 104–114. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-9-104-114

For citation:
Kolos E.M., Malyshev I.I., Globenko S.A., Sergeyev E., Ishkuvatov R.R., Krotkova I.L. Optimization of energy consumption at gas distribution stations using turboexpanders: modeling and analysis. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2025. No. 9. Pp. 8–19. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-9-104-114