

На правах рукописи



ГАТАУЛЛИНА АЛИНА РУДОЛЬФОВНА

**ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ
ГАЗОСНАБЖЕНИЯ ЗА СЧЕТ УТИЛИЗАЦИИ ВТОРИЧНЫХ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ**

Специальность 25.00.19 – «Строительство и эксплуатация
нефтегазопроводов, баз и хранилищ»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Уфа 2016

Работа выполнена на кафедре «Транспорт и хранение нефти и газа» в ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет».

Научный руководитель	доктор технических наук, профессор Байков Игорь Равильевич
Официальные оппоненты:	Бакиев Тагир Ахметович доктор технических наук, профессор ООО «Газпром трансгаз Уфа» / инженерно-технический центр, начальник Колотилов Юрий Васильевич, доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) Имени И.М. Губкина» / кафедра «Нефтепродуктообеспечение и газоснабжение», профессор
Ведущая организация	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов

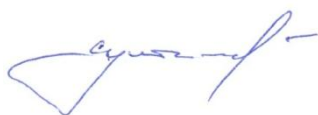
Защита диссертации состоится «22» сентября 2016 года в 14.30 на заседании диссертационного совета Д 212.289.04 при ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» по адресу: 450062, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» и на сайте www.rusoil.net.

Автореферат диссертации разослан « ____ » _____ 2016 года.

Ученый секретарь

диссертационного совета



Султанов Шамиль Ханифович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

При росте мирового потребления первичной энергии Российская Федерация занимает 3 место по объему потребления энергоресурсов после США и Китая. Основными источниками энергии являются углеводороды, крупная гидроэнергетика и ядерная энергетика. Доля использования газа в России составляет 55% от потребления первичной энергии. Потребление газа в России равно суммарному потреблению Германии, Франции, Италии, Японии, Китая и Индии. Россия ежегодно сжигает и перерабатывает 420 млрд. м³ газа.

В последнее время в РФ происходит все большее вовлечение в топливный баланс нетрадиционных и возобновляемых источников энергии (НВИЭ), несмотря на их низкие потенциалы, появляются проблемы с аккумуляцией.

По данным British Petroleum, доля мирового производства электроэнергии с использованием возобновляемых источников энергии составила в 2014 г. 6%, а использование возобновляемых источников энергии для производства электроэнергии и в сфере транспорта в 2014 г. достигло 3% мирового потребления энергии. Использование энергии ветра возросло на 10,2%, солнечной энергии – на 38,2 %, производства биотоплива – на 7,4%. Китай показал самый большой прирост использования возобновляемых источников энергии в производстве электроэнергии (+ 15,1%).

Для повышения энергетической эффективности и сокращения вредного воздействия на окружающую среду Российской Федерацией принят ряд документов и международных соглашений. Основные из них – «Энергетическая стратегия России на период до 2030 года», Федеральный закон «Об энергосбережении...», обязательства в рамках Киотского протокола и принятие «Парижского соглашения».

Основным источником поступления в атмосферу парниковых газов является традиционная энергетика. Замещение части традиционной энергетики возможно

не только НВИЭ, но и более полным использованием вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) в магистральном транспорте газа.

На долю газотранспортной системы приходится около 85% основных производственных фондов ПАО «Газпром», на нужды транспорта расходуется около 70% от общего потребления газа ПАО «Газпром», а потенциал энергосбережения при транспортировке газа оценивается ПАО «Газпром» величиной порядка 85% от общей экономии топливно-энергетических ресурсов в отрасли. По количеству потребляемого топлива газовая промышленность в России занимает второе место после электроэнергетики.

Одно из направлений развития газовой промышленности в соответствии с «Энергетической стратегией России на период до 2030 г.» – развитие единой системы газоснабжения (ЕСГ) и ее расширение на восток РФ, причем энергосбережение и энергоэффективность являются одними из важнейших направлений.

На каждом действующем предприятии должен быть обеспечен учет всех образующихся ВЭР и возможных направлений их использования и способов утилизации. Этот учет производится при паспортизации объектов ПАО «Газпром». Энергетический паспорт, составленный по результатам обязательного для объектов газотранспортной системы энергетического обследования, должен содержать информацию об объеме используемых энергетических ресурсов и его изменении, потенциале энергосбережения и показателях энергетической эффективности.

Таким образом, актуальной задачей на сегодня является определение альтернативных приоритетов традиционной энергетике с использованием ВЭР газотранспортной системы. Для этого необходимо произвести оценку потенциалов ВЭР и определить наиболее эффективные направления их использования.

Целью работы является теоретическое обоснование и определение приоритетов во внедрении энергосберегающих технологий с использованием ВЭР в газотранспортной системе и выявление резервов экономии энергоресурсов.

Для достижения указанной цели поставлены следующие **задачи**:

1 Обобщить методики расчета и оценки потенциалов основных видов ВЭР в системе газоснабжения и разработать расширенную форму энергетического паспорта для более полной оценки потенциалов энергосбережения в ЕСГ.

2 По предложенным методикам определить потенциалы ВЭР в ЕСГ и способы их утилизации.

3 Установить наиболее рациональные схемы использования детандер – генераторных агрегатов (ДГА) на газораспределительных станциях (ГРС).

4 Разработать эффективное техническое решение по преобразованию энергии избыточного давления газа в электрическую мощность с использованием ДГА.

Научная новизна:

1 Доказано, что использование выражений для идеального газа при определении работы ДГА приводит к погрешности в расчетах. Относительная погрешность расчета удельной технической работы ДГА при перепаде давлений с 7,5 до 1,2 МПа достигает 28%, с 4 до 1,2 МПа – 11%, с 1,2 до 0,6 МПа – 4%, с 1,2 до 0,3 МПа – 15% в интервале температур газа на входе от минус 10°С до 160°С.

2 С использованием метода асимптотических координат получена аналитическая зависимость для определения удельной фактической технической работы ДГА с учетом перепада давлений и температуры перед ДГА.

3 Теоретически обоснована возможность преобразования энергии избыточного давления топливного газа ГТУ в электрическую мощность для автономного электроснабжения компрессорной станции с использованием потока холодного газа после ДГА для охлаждения части транспортируемого газа после компримирования.

Практическая ценность работы. Полученные результаты исследований используются в учебном процессе и включены в программу дисциплин «Энергосбережение в теплоэнергетике и технологиях», «Тепломассообменное оборудование предприятий» при подготовке бакалавров по направлению «Промышленная теплоэнергетика» ФГБОУ ВО УГНТУ.

Схемы использования детандер - генераторных агрегатов в системе газоснабжения используются ООО «Ростнефтехим» при проведении технико-экономических обоснований утилизации вторичных энергетических ресурсов на компрессорных станциях (КС) и ГРС.

Методы исследований. При выполнении диссертационной работы использовались общенаучные теоретические и расчетные методы исследования (метод асимптотических координат, статистические методы исследования). Используются основные методы термодинамического анализа и фактические эксплуатационные характеристики оборудования.

Защищаемые положения: результаты оценок потенциалов ВЭР в системе газоснабжения; зависимости потенциалов ВЭР избыточного давления от параметров работы станции понижения давления; схемы использования ДГА.

Апробация результатов работы. Основные положения и результаты диссертационной работы были представлены на 61, 62 -й научно-технических конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ, г. Уфа, 2010, 2011 гг.; II, III, IV Международных научно-технических конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых «Водоснабжение, водоотведение и системы защиты окружающей среды», г. Уфа, 2011 - 2013 гг.; Международной молодежной конференции «Энергетическое обследование как первый этап реализации концепции энергосбережения», г. Томск, 2012 г.; XVIII, XX Всероссийской научно-технических конференциях «Энергетика: Эффективность, надежность, безопасность», г. Томск, 2012, 2014 гг.; XVIII, XIX Международных научно-технических конференциях «Проблемы строительного комплекса России», г. Уфа, 2014, 2015 гг.; IX, X Международных учебно-научно-практических конференциях «Трубопроводный транспорт», г. Уфа, 2013, 2015 гг.; Международном конкурсе научных работ по приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в Российской Федерации, г. Москва, 2012 г.; конкурсе научных работ в области возобновляемых источников энергии и энергоэффективности для молодых ученых «Стипендия Bellona» в 2013/2014 учебном году, г. Санкт-Петербург, 2014 г.; X научно-технической конференции

молодых ученых и специалистов ИТЦ ООО «Газпром трансгаз Уфа» на тему «Совершенствование и повышение качества инженерно-технического производства в газотранспортной системе», г. Уфа, 2014 г.

Публикации. Основной материал диссертации изложен в 18 публикациях, в том числе в 4 статьях в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК Минобрнауки РФ.

Структура и объем работы. Диссертация изложена на 184 страницах машинописного текста; состоит из введения, 5 глав, выводов, списка литературы и приложений, включает 37 таблиц, 71 рисунок, 1 приложение, библиографический список из 127 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приводится общая характеристика работы, обоснована актуальность проблемы. Сформулированы цель и задачи исследования, отражены научная новизна и практическая ценность полученных результатов.

В первой главе проведен анализ состояния вопроса по источникам и видам ВЭР и НВИЭ, рассмотрены перспективы их использования.

Российская Федерация располагает огромными потенциалами ВЭР и НВИЭ. В связи с определенными техническими и экономическими сложностями их использования необходимо определить приоритетные направления в этих областях.

Решению вопросов повышения энергетической эффективности транспорта природного газа и использования детандер-генераторных агрегатов для утилизации энергии избыточного давления газа посвящены работы Агабабова В.С., Корягина А.В., Аксенова Д.Т., Титова В.Л., Поршакова Б.П., Гаррис Н.А., Байкова И.Р. и др.

Широкое внедрение НВИЭ и ВЭР как основного инструмента энергосбережения связано главным образом с иссякаемыми запасами первичных природных углеводородных ресурсов, а также с повышенным потреблением промышленностью природных ресурсов.

Внедрение нетрадиционной энергетики и использование НВИЭ и альтернативных видов топлива требует тщательной проработки, оценки наличия этих источников и стоимости внедрения. Для оценки и сопоставления количества энергии, содержащейся во вторичных и нетрадиционных и возобновляемых источниках энергии, введена единая терминология.

Основными проблемами при использовании НВИЭ являются их низкая концентрация, неравномерность территориального и временного распределения, сложность технического использования.

Несмотря на огромные потенциалы НВИЭ, использование ВЭР имеет более привлекательные перспективы. Выход ВЭР предсказуем на основании технических характеристик и данных эксплуатации установок – источников ВЭР, капитальные затраты на установки по утилизации ВЭР значительно ниже и себестоимость энергоресурсов получаемых в этих установках ниже установленных тарифов. Например, себестоимость электроэнергии, вырабатываемой в детандер – генераторных агрегатах, составляет 0,5-2,5 руб./кВт·ч, а стоимость тепловой энергии при утилизации тепловых ВЭР ГТУ 30-100 руб./Гкал.

Использование ресурсов энергосбережения в виде потенциала ВЭР, которые сосредоточены в газовой промышленности и одной из ее самых энергоемких отраслей – магистральном транспорте газа – представляется более целесообразным и перспективным направлением на сегодняшний день.

Во второй главе показано, что в системе газоснабжения имеется значительный потенциал ВЭР избыточного давления транспортируемого газа и имеются проработанные технологии его утилизации, предложена методика определения потенциалов ВЭР избыточного давления транспортируемого природного газа, рассмотрены термодинамические основы процесса расширения газа в ДГА, доказано, что использование выражений для идеального газа для определения работы детандера приводит к погрешности в расчетах, получены зависимости удельной технической работы детандера в зависимости от температуры на входе и перепада давлений.

С учетом объемов газа, распределяемых по стране ГРС и ГРП, в системе газоснабжения имеется существенный потенциал вторичных энергоресурсов в виде энергии избыточного давления газа. Существуют способы использования потенциала избыточного давления газа в ДГА для производства электроэнергии и холода. В настоящее время ДГА производятся многими зарубежными и отечественными производителями, например, фирма АББ, корпорация «Ротофлор», компания RMG, ОАО «Турбогаз», ООО «Криокор», НТЦ «МТТ».

В таблице 1 представлены основы определения потенциалов ВЭР транспортируемого природного газа.

Таблица 1 – Потенциалы ВЭР избыточного давления транспортируемого природного газа

Потенциал ВЭР избыточного давления	Методика определения	Значение
Энергетический потенциал энергоносителя	<p>Определяется технической работой адиабатного расширения 1 кг газа l, Дж/кг</p> $l = z_{cp} \frac{k}{k-1} \cdot R \cdot T_1 \cdot \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]$	l , Дж/кг
Удельный валовый	<p>Определяется мощностью N, Вт, т.е. количеством работы, снимаемой с вала генератора в единицу времени</p> $N = G \cdot l \cdot \eta_m$	N , Вт
Валовый	Определяется выработкой электроэнергии за определенный промежуток времени в случае полного срабатывания избыточного давления газа в расширительных машинах	\mathcal{E} , кВт·ч

Продолжение таблицы 1

Планируемый технический	В общем случае эквивалентен валовому (в частности, зависит от рабочих параметров эксплуатации ГРС и возможности реализации проектных параметров работы ДГА)	$\mathcal{E}_{пл}$, кВт·ч
Фактический технический	На традиционных ГРС избыточное давление срабатывает в дроссельных устройствах до давлений в распределительной сети и потенциал ВЭР теряется	Для традиционных ГРС равен 0. В случае полезного использования ВЭР определяется по отчетным данным предприятия.
Экономический	Определяется главным образом наличием потребителей вырабатываемой электроэнергии	$\mathcal{E}_{эк}$, кВт·ч

В области проведения расчетов свойства метана отличаются от свойств идеального газа, поэтому при задании термодинамических свойств, не зависящих от температуры $t_{вх}$, °С, работа детандера будет определена с погрешностью δ , %.

Результаты расчета относительной погрешности удельной технической работы детандера для реального и идеального газа представлены на рисунке 1.

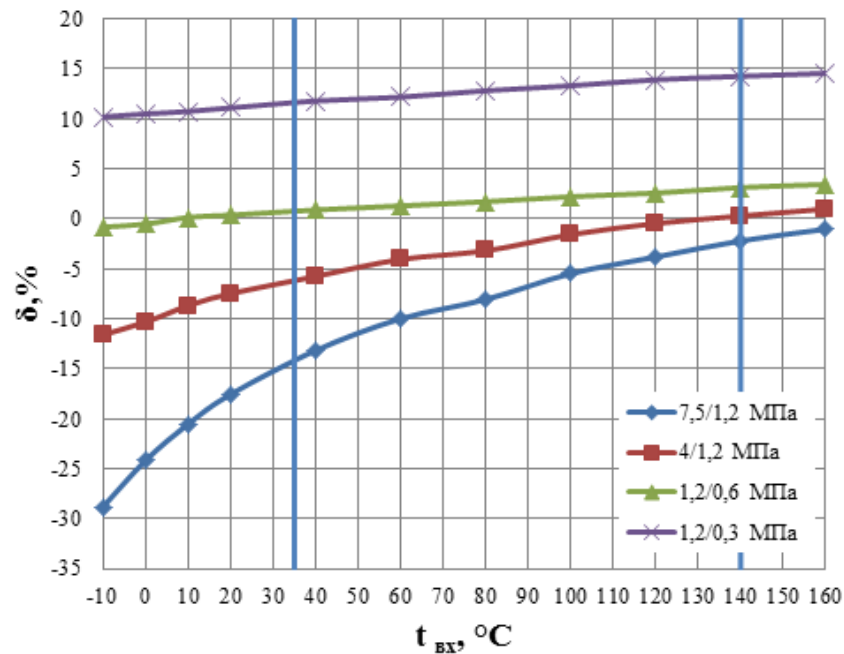


Рисунок 1 – Результаты расчета относительной погрешности удельной технической работы детандера для реального и идеального газа

Из рисунка 1 видно, что при высоких давлениях и низких температурах работа детандера будет завышена, а при низких давлениях и высоких температурах занижена.

Погрешность расчета удельной работы детандера для реального газа в диапазоне температур – 10..160 °С при перепаде давлений 7,5/1,2 МПа составляет -28,8..-1 %, при перепаде давлений 4/1,2 МПа составляет -11,6..0,99%, при перепаде давлений 1,2/0,6 МПа составляет -0,8..3,5 %, при перепаде давлений 1,2/0,3 МПа составляет 10,2.. 14,6 %.

Полученные положения необходимо учитывать при проектировании станций понижения давлений с использованием ДГА, особенно в области высоких давлений и при использовании холодного потока газа после ГРС, т.е. на станциях с комбинированной выработкой электроэнергии и холода.

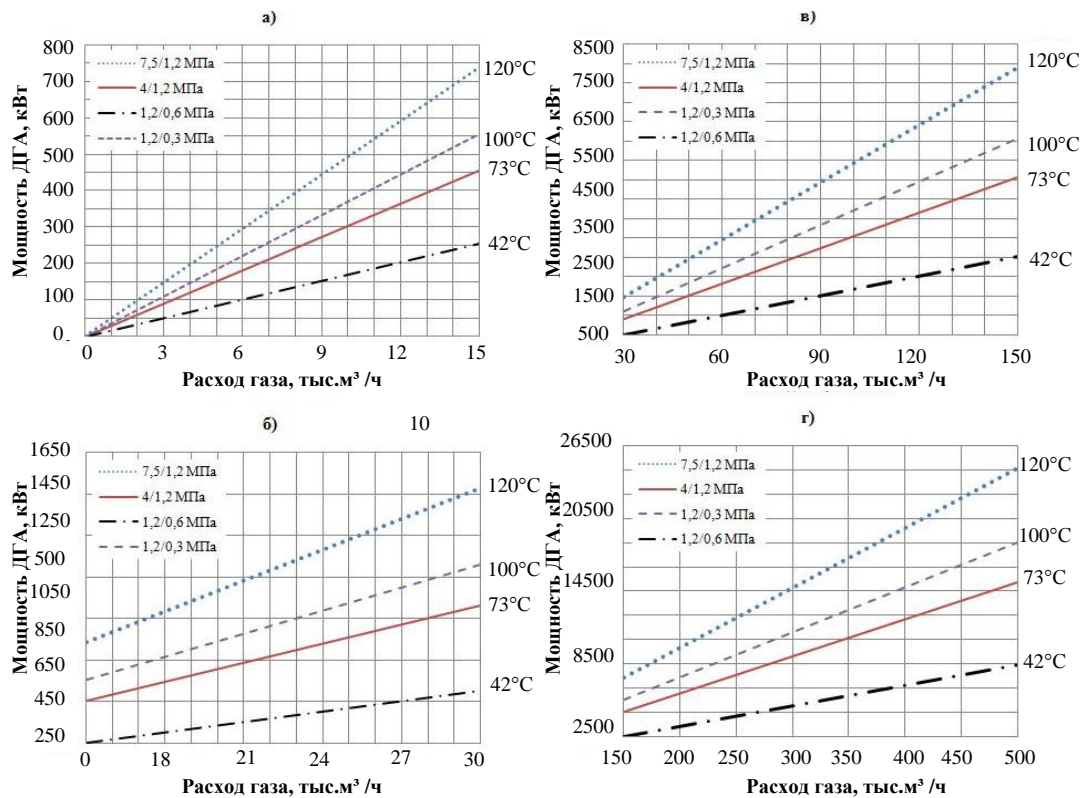
Одним из основных элементов на станции понижения давления с ДГА является система подогрева газа, так как в случае адиабатного детандирования температура газа снижается существенно, чем в процессе дросселирования. При проектировании и эксплуатации ДГА стоит задача определения температуры газа на выходе в зависимости от температуры на входе.

Для обеспечения нормируемой температуры на выходе из ГРС при больших перепадах давлений (7,5/1,2 МПа и 1,2/0,3 МПа) газ перед детандером следует подогревать до температуры 100-120 °С, при незначительных перепадах давлений (4/1,2 МПа и 1,2/0,6 МПа) – до 40-80 °С.

Потенциал ВЭР избыточного давления прямо пропорционален энергетическому потенциалу энергоносителя, который определяется технической работой адиабатного расширения 1 кг газа. Техническая работа зависит от температуры на входе в детандер и располагаемого перепада давлений.

Для обоснования технологий внедрения установок по утилизации ВЭР в ЕСГ произведена оценка удельных валовых потенциалов ВЭР избыточного давления транспортируемого газа на типовых ГРС (ГРП). Результаты исследования представлены на рисунке 2.

Были приняты следующие условия и ограничения: энтальпия газа на выходе из теплообменника подогрева газа равна энтальпии газа на входе в ДГА; внутренний относительный КПД детандера – 0,85; электромеханический КПД генератора – 0,95; температура газа после детандера $t = 0^\circ\text{C}$.



а) станции с централизованной формой обслуживания (фактическая производительность станции не более 15 тыс. $\text{нм}^3/\text{ч}$); б) станции с периодической формой обслуживания (фактическая производительность станции не более 30 тыс. $\text{нм}^3/\text{ч}$); в) станции с надомной формой обслуживания (фактическая производительность станции не более 150 тыс. $\text{нм}^3/\text{ч}$); г) станции с вахтенной формой обслуживания (фактическая производительность станции более 150 тыс. $\text{нм}^3/\text{ч}$)

Рисунок 2 – Сопоставление мощности ДГА от расхода газа при различных отношениях давлений газа

Из рисунка 2 видно, что потенциал возможной электрической мощности ДГА на газе, транспортируемом потребителям через ГРС (ГРП), достаточно велик и достигает 250..760 кВт для станций с фактической производительностью не более 15 тыс. $\text{нм}^3/\text{ч}$; 504 .. 1474 кВт для станций с фактической производительностью не более 30 тыс. $\text{нм}^3/\text{ч}$; 2525 .. 7370 кВт для станций с фактической производительностью не более 150 тыс. $\text{нм}^3/\text{ч}$; 8415 .. 24567 кВт для станций с фактической производительностью более 150 тыс. $\text{нм}^3/\text{ч}$.

С использованием метода асимптотических координат получена функция, характеризующая зависимость удельной фактической технической работы детандера от температуры на входе и соотношения давлений:

$$l(p_1/p_2, t_{\text{вх}}) = (-0.0374 \cdot (p_1/p_2)^2 + 0.5404 \cdot (p_1/p_2) - 0.9232) \cdot (158,09 \cdot t_{\text{вх}}^{0,13111} - 67,55 \cdot t_{\text{вх}}^{0,13111}) + 67,55 \cdot t_{\text{вх}}^{0,13111},$$

где $t_{\text{вх}}$, – температура газа на входе в ДГА, °С;

p_1, p_2 , – давление газа до и после ДГА, соответственно, МПа.

В третьей главе рассмотрены источники тепловых ВЭР ЕСГ и направления их использования, оценены потенциалы тепловых ВЭР ЕСГ и экономия энергоресурсов при их утилизации.

По предложенным методикам оценены потенциалы тепловых ВЭР уходящих ГТУ для единичного оборудования, для возможных компоновок компрессорных цехов и для ЕСГ в целом. Суммарный удельный валовый потенциал тепловых ВЭР ГТУ газотранспортной системы составляет 65,5 ГВт, а валовый потенциал – 634,2 млн. ГДж (рисунок 3).

Температура уходящих газов на выходе из утилизатора принималась 110 °С, средняя годовая наружная температура воздуха 0 °С, относительное время нахождения ГТУ в работе 0,384, продолжительность календарного года 8760 ч.

При использовании тепловых ВЭР ГТУ для выработки тепловой энергии годовая экономия топливного газа в системе газоснабжения может составить 20737 млн. м³, что эквивалентно сокращению выбросов парниковых газов в атмосферу на 38 млн. т CO₂/год.

Оценены потенциалы тепловых ВЭР нагнетателей природного газа для единичного оборудования, для возможных компоновок компрессорных цехов и для ЕСГ в целом.

Суммарный удельный валовый потенциал нагнетателей природного газа агрегатов с газотурбинным приводом в ЕСГ составляет 9070 МВт, а валовый – 87,871 млн. ГДж.

Годовая экономия электроэнергии при утилизации тепловых ВЭР нагнетателей природного газа газоперекачивающих агрегатов с газотурбинным приводом для ЕСГ составит 245,861 тыс. МВт·ч.

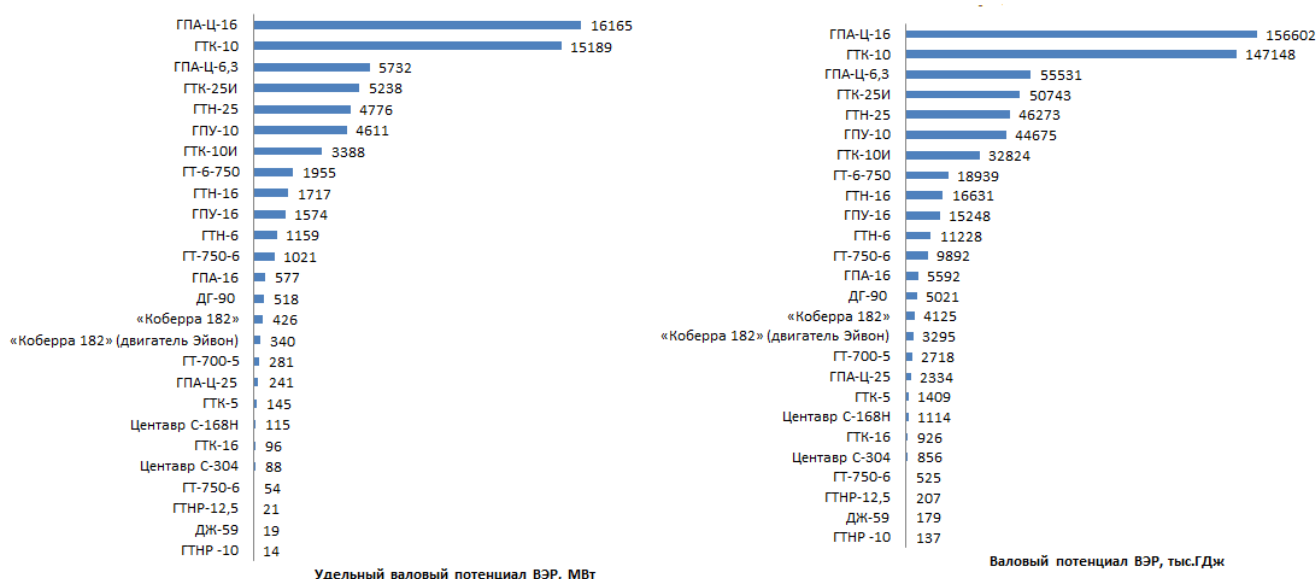


Рисунок 3 – Распределение потенциалов тепловых ВЭР ГТУ ЕСГ в зависимости от типа

Потенциал тепловых вторичных энергоресурсов уходящих газов газотурбинных установок превалирует над потенциалом тепловых ВЭР нагнетателей природного газа. Доля потенциала нагнетателей природного газа от потенциала тепловых вторичных энергоресурсов уходящих газов ГТУ составляет от 2 до 20 % (рисунок 4).

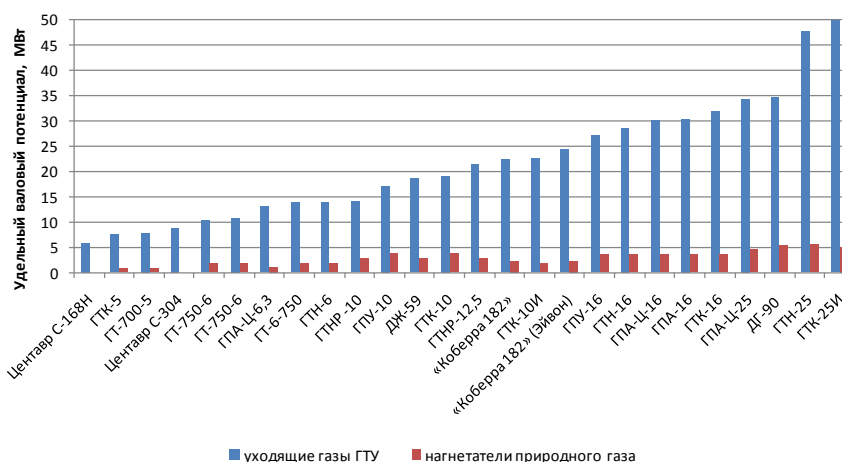
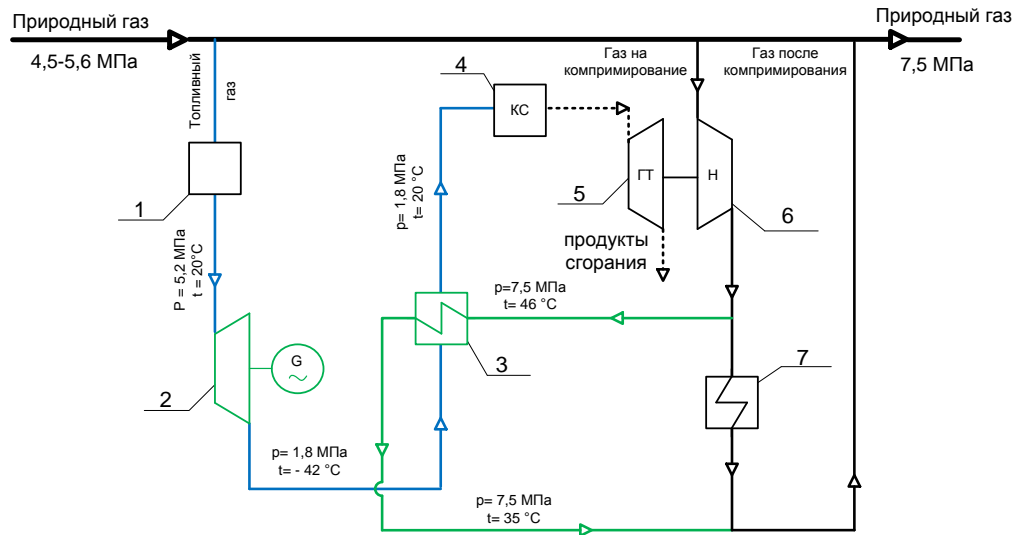


Рисунок 4 – Сопоставление потенциала тепловых ВЭР уходящих газов ГТУ и нагнетателей природного газа на единицу оборудования

В четвертой главе предлагается схема утилизации ВЭР на КС магистральных газопроводов, которая предполагает использование энергии избыточного давления топливного газа и части потока транспортируемого газа после компримирования для подогрева холодного топливного газа после ДГА.

Предлагаемая схема представлена на рисунке 5.



1 – узел очистки и осушки газа, 2 – детандер – генераторный агрегат, 3 – теплообменный аппарат, 4 – камера сгорания ГТУ, 5 – газовая турбина, 6 – нагнетатель, 7 – АВО

Рисунок 5 – Энерготехнологический комплекс на базе ДГА на КС

Природный газ в количестве, необходимом для обеспечения собственных нужд ГТУ, отбирается из магистрального газопровода перед нагнетателем, проходит очистку и дополнительную осушку 1 и далее поступает в ДГА 2, где за счет энергии избыточного давления газа происходит выработка электроэнергии. После ДГА охлажденный поток газа поступает в теплообменный аппарат 3, где подогревается частью потока транспортируемого газа после компримирования. Подогретый в ТОА 3 природный газ поступает в коллектор топливного газа КС, откуда подается в камеру сгорания ГТУ. Основной поток транспортируемого газа после компримирования на КС направляется для охлаждения в аппараты воздушного охлаждения и затем поступает в магистральный газопровод.

Рассчитаны основные технико-экономические показатели работы энерготехнологического комплекса на базе ДГА в типовом КЦ с установленной мощностью 80 МВт (5 агрегатов ГПА-Ц-16).

Электрическая мощность ДГА для КЦ составляет 695 кВт.

Годовая выработка электроэнергии ДГА в КЦ составляет 2337 тыс. кВт·ч без затрат топлива. В среднем при выработке 1 кВт·ч электрической энергии на ТЭЦ требуется 0,327 кг у.т. При применении ДГА возможно сэкономить 764 т у.т./год.

Электроэнергии, вырабатываемой в ДГА, достаточно для покрытия собственных нужд КЦ. В случае необходимости электроэнергия может поставляться в электрическую сеть сторонним потребителям.

Кроме того, при расчете экономических показателей учитывается дополнительная экономия электроэнергии на привод АВО газа в количестве 23,5 тыс. кВт·ч.

Проект экономически эффективен, дисконтированный срок окупаемости составляет 7,3 года. Себестоимость вырабатываемой электроэнергии 1,83 руб./кВт·ч.

В пятой главе проанализированы основные схемы установки ДГА на ГРС и предложены наиболее рациональные схемы с различными системами подогрева газа.

При расположении ГРС в непосредственной близости к ТЭЦ для подогрева природного газа можно использовать оборотную воду с температурой 36 °С или обратную сетевую воду от потребителей с температурой 70 °С, которые имеются в избыточном количестве. Сооружение промышленных холодильников в этом случае практически невозможно ввиду отсутствия свободных от застройки площадей. На близкорасположенных к крупным населенным пунктам ГРС при наличии свободной от застройки территории отопление природного газа после ДГА целесообразно производить промежуточным хладоносителем, который используется в промышленных холодильниках для получения холода.

Наибольшая выработка электроэнергии в ДГА получена в схеме при подогреве газа обратной сетевой водой ТЭЦ до температуры 50 °С перед установкой. В схеме при отсутствии подогрева газа перед ДГА и получении холода в промышленном холодильнике выработка электроэнергии сокращается в 1,2 раза (на 16%), но при этом получаем дополнительный эффект в виде холода в количестве, эквивалентном электрической мощности установки. Использование для подогрева газа оборотной воды ТЭЦ влечет за собой технические сложности в виде дополнительного теплообменного оборудования для нагрева промежуточного теплоносителя, а также устройства дополнительной системы подогрева газа после ДГА.

Основные технические показатели работы установок при различных схемах установки детандер-генераторных агрегатов на ГРС представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнение показателей работы детандер-генераторного агрегата при различных схемах подогрева газа

Показатель	Размерность	Схема №1. Подогрев обратной сетевой водой ТЭЦ	Схема № 2. Подогрев оборотной водой ТЭЦ	Схема № 3. Подогрев промежуточным теплоносителем для получения холода
Расход газа, G	кг/с	11,87	11,87	11,87
Перепад давлений газа на входе и выходе, ΔP		2	2	2
Температура газа на входе в детандер, t _{вх}	°С	50	26	0
Удельная работа, L _д	кДж/кг	107	99,1	90,5
Мощность, N _е	кВт	1026	950	867,5
Продолжительность календарного года, τ	ч	8760	8760	8760
Годовая выработка электроэнергии, Э	Млн. кВт·ч	9	8,3	7,6
Холодопроизводительность	кВт	0	0	814

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1 На основании обобщения методик расчета потенциалов ВЭР предложена расширенная форма для энергопаспорта ПАО «Газпром», позволяющая повысить точность оценки потенциалов ВЭР в ЕСГ.

2 По результатам оценки потенциалов основных видов ВЭР ЕСГ РФ установлено, что при использовании тепловых ВЭР ГТУ экономия топливного газа составит 20,7 млрд. м³ в год, а выбросы парниковых газов в атмосферу сократятся на 38 млн. т CO₂/год. Утилизация тепловых ВЭР нагнетателей природного газа позволит сэкономить 246 тыс. МВт·ч в год электроэнергии, необходимой для привода вентиляторов АВО.

3 Предложено три варианта схем установки ДГА на ГРС с различными способами подогрева газа. Подогрев газа обратной сетевой водой ТЭЦ наиболее целесообразен, т.к. достигается максимальная выработка электроэнергии. При использовании охлажденного потока газа после ДГА в промышленном холодильнике выработка электроэнергии сокращается на 16%, но вырабатывается холод в количестве, эквивалентном электрической мощности установки.

4 По предлагаемой схеме преобразования энергии избыточного давления топливного газа ГТУ в электрическую мощность показана возможность автономного электроснабжения КС и охлаждения до 2,5 % транспортируемого газа после компримирования потоком газа после ДГА с исключением части АВО. Себестоимость вырабатываемой электроэнергии составляет 1,83 руб./кВт·ч.

Основные результаты диссертационного исследования опубликованы в следующих научных трудах:

в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ:

1. Байков, И.Р. Предложения по представлению информации о вторичных энергетических ресурсах (ВЭР) в энергетическом паспорте / И.Р. Байков, Р.А. Молчанова, А.Р. Гатауллина, О.В. Кулагина // Территория НЕФТЕГАЗ. – 2013. – №9. – С. 76 – 83.

2. Гатауллина, А.Р. Использование энергии давления транспортируемого природного газа / А.Р. Гатауллина, И.Р. Байков, Р.А. Молчанова, О.В. Кулагина // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 2013. – №2. – С. 37 – 39.

3. Байков, И.Р. Энерготехнологический комплекс на базе детандер-генераторных агрегатов на компрессорной станции / И.Р. Байков, Р.А. Молчанова, А.Р. Гатауллина // Территория НЕФТЕГАЗ. – 2015. – № 6. – С. 114 – 118.

4. Молчанова, Р.А. Оценка потенциала тепловых вторичных энергоресурсов газотранспортной системы / Р. А. Молчанова, А.Р. Гатауллина // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2015. – № 2. – С. 22 – 26.

в других изданиях:

5. Гатауллина, А.Р. Использование потенциала избыточного давления природного газа / А.Р. Гатауллина, О.В. Кулагина, Р.А. Молчанова // Материалы 61-й науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2010. – Кн.1. – С. 93 – 94.

6. Гатауллина, А.Р. Использование вторичных энергетических ресурсов в магистральном транспорте газа / А.Р. Гатауллина, Р.А. Молчанова, И.Р. Байков // Водоснабжение, водоотведение и системы защиты окружающей среды: Ст. и тез. докл. II Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых / УГНТУ. – Уфа: ЦИТО, 2011. – С. 101 – 103.

7. Гатауллина, А.Р. Получение электроэнергии и "холода" при утилизации энергии давления транспортируемого природного газа в ДГА / А.Р. Гатауллина, О.В. Кулагина, Р.А. Молчанова // Материалы 62-й науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2011. – Кн.1. – С. 115.

8. Гатауллина, А.Р. Использование энергии давления транспортируемого природного газа в детандер-генераторных агрегатах / А.Р. Гатауллина, О.В. Кулагина // Сб. тр. Международного конкурса научных работ по приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в Российской Федерации. – М.:НИИ Радиоэлектроники и лазерной техники, 2012. – С. 314 – 319.

9. Гатауллина, А.Р. Использование энергии давления транспортируемого природного газа / А.Р. Гатауллина, О.В. Кулагина, Р.А. Молчанова // Водоснабжение, водоотведение и системы защиты окружающей среды: Ст. и тез. докл. III Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых / УГНТУ. – Уфа: ЦИТО, 2012. – С. 203.

10. Гатауллина, А.Р. Повышение эффективности магистрального транспорта газа / А.Р. Гатауллина, О.В. Кулагина, Р.А. Молчанова // Энергетическое обследование как первый этап реализации концепции энергосбережения: Материалы Междунар. молодеж. конф.. – Томск: Изд-во ООО «СПБ Графика», 2012.– С. 124 – 126.

11. Гатауллина, А.Р. Утилизация энергии избыточного давления транспортируемого газа в детандер-генераторных агрегатах / А.Р. Гатауллина, О.В. Кулагина, Р.А. Молчанова // Энергетика: Эффективность, надежность, безопасность: материалы XVIII Всерос.науч.-техн.конф. / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ООО «СПБ Графика», 2012. – С. 135 – 136.

12. Байков, И.Р. Потенциал вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) на предприятиях нефтегазовой отрасли / И.Р. Байков, Р.А. Молчанова, О.В. Кулагина, А.Р. Гатауллина // Трубопроводный транспорт-2013: материалы IX Междунар. учеб.- науч.- практ. конф. / УГНТУ. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2013. – С. 338 – 339.

13. Гатауллина, А.Р. Способы утилизации тепловых вторичных энергетических ресурсов газотурбинных установок / А.Р. Гатауллина, О.В. Кулагина // Водоснабжение, водоотведение и системы защиты окружающей среды:Ст. и тез. докл. IV Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых / УГНТУ. – Уфа: ЦИТО, 2013. – С. 151 – 156.

14. Гатауллина, А.Р. Необходимость подогрева газа в детандер-генераторных установках при использовании потенциала избыточного давления транспортируемого природного газа / А.Р. Гатауллина, // Энергетика: Эффективность, надежность, безопасность: материалы XX Всерос. науч. -техн.

конф. / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. Т. I. – С. 199 – 201.

15. Гатауллина, А.Р. Особенности выбора термодинамических свойств расширяющейся среды в детандер-генераторных агрегатах (ДГА) / А.Р. Гатауллина // Проблемы строительного комплекса России: материалы XVIII Междунар. науч.-техн. конф. / УГНТУ. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2014. – С. 223 – 224.

16. Гатауллина, А.Р. Комплексная схема утилизации вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) на компрессорных станциях / А. Р. Гатауллина // Проблемы строительного комплекса России : материалы XIX Междунар. науч.-техн. конф. / УГНТУ. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2015. – С. 328 – 330.

17. Гатауллина, А.Р. Определение температуры на выходе из детандер-генераторного агрегата при их установке на ГРС / А.Р. Гатауллина, Р.А. Молчанова // Трубопроводный транспорт-2015: материалы X Междунар. учеб.-науч.-практ. конф. / УГНТУ. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2015. – С. 358 – 359.

18. Гатауллина, А.Р. Сопоставление схем использования ДГА на ГРС с различными системами подогрева газа / А.Р. Гатауллина, Р.А. Молчанова // Трубопроводный транспорт-2015: материалы X Междунар. учеб.-науч.-практ. конф. / УГНТУ. – Уфа: Из-во УГНТУ, 2015. – С. 359 – 362.