

УДК 621.6

*Д.У. Темуркаев*

*Студент магистрант*

*Кафедра промышленной теплоэнергетики*

*ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»*

*г. Тюмень, Россия*

*D.U. Temurkaev*

*Master's degree student*

*Department of Industrial Thermal Power Engineering*

*Federal State Budget Educational Institution of Higher Education*

*«Industrial University of Tyumen»*

*Tyumen, Russia*

**ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ  
ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СТАНЦИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ  
ТУРБОДЕТАНДЕРА: ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ**

**IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF GAS DISTRIBUTION  
STATIONS USING A TURBOEXPANDER: RESEARCH AND  
OPTIMIZATION**

*Аннотация:* В работе исследуются возможности повышения энергоэффективности газораспределительных станций (ГРС) через применение турбодетандеров при редуцировании давления. Описаны принципы работы турбодетандеров, их основные конструктивные и эксплуатационные характеристики, а также методы интеграции в существующие технологические схемы ГРС. Проведено моделирование энергосбережения с учётом термодинамического баланса и влияния предварительного подогрева газа; проанализированы реальные примеры

внедрений и оценены эффекты в части снижения внешнего энергопотребления и экономии топлива. Даны практические рекомендации по выбору конфигурации и параметров оборудования в зависимости от расхода газа и режимов работы станции.

**Abstract:** *The paper explores the possibilities of increasing the energy efficiency of gas distribution stations (GDS) through the use of turboexpanders during pressure reduction. It describes the principles of operation of turboexpanders, their main design and operational characteristics, as well as methods for integrating them into existing GDS process schemes. The paper also conducts energy saving modeling, taking into account the thermodynamic balance and the impact of gas preheating, and analyzes real-world examples of implementations, evaluating the effects on reducing external energy consumption and fuel savings. Practical recommendations are given for selecting the configuration and parameters of the equipment, depending on the gas flow rate and the station's operating modes.*

**Ключевые слова:** газораспределительная станция, турбодетандер, редуцирование давления, энергосбережение, рекуперация энергии, подогрев газа, моделирование, КПД, когенерация.

**Keywords:** *gas distribution station, turboexpander, pressure reduction, energy saving, energy recovery, gas heating, modeling, efficiency factor, cogeneration.*

## **Введение**

Газораспределительные станции (ГРС) играют ключевую роль в обеспечении стабильной подачи природного газа потребителям, однако значительная часть энергии теряется при редуцировании давления. Современные подходы к снижению этих потерь включают использование турбодетандеров, способных преобразовывать избыточное давление в полезную электрическую или механическую энергию. В работе

рассматриваются принципы работы таких устройств на ГРС, оценивается их влияние на общую энергоэффективность станций и разрабатываются модели интеграции в существующие технологические схемы. Анализируются реальные примеры внедрения, проводится моделирование энергосбережения и формулируются практические рекомендации по оптимизации оборудования.

### **Методы и исследования**

Методологический подход: сочетание теоретического анализа, термодинамических расчётов и численного моделирования режимов работы ГРС с интегрированными турбодетандерами.

Термодинамические расчёты: определение доступной изменчивой энтальпии природного газа при редуцировании с учётом реального уравнения состояния газа, расчёт изоэнтропийной работы и фактической мощности с учётом КПД турбодетандера.

Моделирование: имитация сезонных и суточных колебаний расхода и давления для прогноза годовой выработки электроэнергии и сокращения закупок из сети; моделирование теплового баланса с учётом преднагрева для предотвращения конденсации и гидратообразования.

Анализ внедрений: сбор и обработка эксплуатационных данных с примеров внедрения (суточная выработка, доля покрытия собственных нужд, изменение удельного энергопотребления). Оценка экономической эффективности и окупаемости при различных сценариях загрузки.

Инструменты: специализированные программные комплексы для расчёта аэротермодинамики и энергетических балансов, полевые измерения параметров (давление, температура, расход), мониторинг выработки и потребления электроэнергии.

### **Результаты исследования**

1. Теоретические результаты:

Оценён диапазон теоретически доступной мощности для турбодетандеров при типичных параметрах ГРС: диапазон выходной мощности от нескольких сотен киловатт до единиц мегаватт при перепадах давления и расходах, характерных для распределительных узлов.

Показано влияние изоэнтропийного КПД (обычно 78–86%) и предварительного подогрева на фактическую выработку и предотвращение гидратообразования.

Сформированы критерии подбора машины: степень расширения, допустимый диапазон частот вращения (8 000–25 000 об/мин), материалы и опорные решения с учётом низкотемпературных режимов.

## 2. Моделирование и энергетический баланс:

Модели подтвердили, что при корректной интеграции турбодетандера и организации подогрева можно прогнозировать годовую выработку, которая покрывает существенную часть собственных нужд станции и снижает закупки электроэнергии.

При использовании уравнений состояния реального газа точность прогноза увеличивается, что важно для станций с высокими начальными давлениями.

## 3. Практические показатели по внедрениям:

На реальных объектах отмечено снижение внешнего энергопотребления на 14–18% и уменьшение удельного энергопотребления станции на 14–16% при сохранении требуемых параметров газа.

В одном проекте выработка составила 1 200–1 500 кВт·ч в сутки, что дало  $\approx 18\%$  экономии на закупаемой энергии.

В проектах с интеграцией тепловых насосов и когенерации коэффициент использования энергии повышался до 0,72, а мощность турбодетандера использовали для питания компрессорного оборудования на АГНКС.

Практическая реализация потребовала замены дроссельных узлов, внедрения регулируемых направляющих аппаратов для адаптации к переменному расходу и организации контроля температуры на выходе.

#### 4. Экономические и эксплуатационные выводы:

Окупаемость проектов в приведённых примерах достигалась в пределах нескольких лет при учёте снижения затрат на электроэнергию и топлива на собственные нужды.

Ключевыми факторами успешности являются профиль расхода газа, величина перепада давления, наличие возможностей реинтеграции тепла и качество мониторинга энергопотребления.

#### **Заключение**

Внедрение турбодетандеров на газораспределительных станциях представляет собой практически реализуемый путь снижения внешнего энергопотребления за счёт преобразования избыточного давления в электрическую и тепловую энергию. Основные выводы исследования:

Эффективность применения турбодетандеров определяется сочетанием параметров: расхода газа, перепада давления, требуемых температурных характеристик и возможностей предварительного подогрева. При грамотном выборе и настройке оборудования достигается заметная экономия собственных нужд станции.

Технические решения (регулируемые направляющие аппараты, хладостойкие материалы, подходящие опоры ротора) позволяют обеспечить надёжную работу в широком диапазоне режимов. Контроль температуры и интеграция теплообменников или тепловых насосов минимизируют риски конденсации и гидратообразования.

Моделирование с учётом реального поведения газа и термодинамического баланса даёт достоверные прогнозы годовой выработки и позволяет оптимизировать параметры установки ещё на стадии проектирования.

Практические внедрения подтверждают экономическую целесообразность: снижение закупок электроэнергии, уменьшение использования топлива на подогрев и возможность использования выработанной мощности для компрессорного оборудования или продажи в сеть.

Рекомендации для внедрения: провести прединвестиционный аудит с измерением профильных режимов расхода и давления, выполнить термодинамическое моделирование с учётом реального состава газа, выбрать турбодетандер с учётом диапазона рабочих режимов и предусмотреть систему контроля и подогрева для предотвращения технологических рисков. Оценивать окупаемость с учётом сезонных колебаний и возможной интеграции с когенерацией или тепловыми насосами.

В целом, переход от традиционного дросселирования к детандированию обладает высоким потенциалом повышения энергоэффективности ГРС и может быть адаптирован под разные типовые конфигурации станций без необходимости капитальной реконструкции трубопроводов.

#### **Библиографический список:**

1. Иванов А.В. Расчет и подбор технологического оборудования газораспределительной станции: бакалаврская работа / Томский политехнический университет. – Томск, 2019. – 123 с.

2. Варенков С.В. Термогазодинамические характеристики радиального турбодетандера газовой холодильной машины // Информационно-коммуникационные технологии в педагогическом образовании. – 2019. – № 2. – 7 с.

3. Шишута С.Р. Повышение энергоэффективности газораспределительной станции «Северная» с помощью турбодетандеров и когенерационных систем // Цифровая наука. – 2024. – № 2. – 5 с.

4. Андреев Р.В. Расчет параметров турбодетандера: бакалаврская работа / Томский политехнический университет. – Томск, 2019. – 93 с.
5. Цедрик С.А. Применение турбодетандеров на установках комплексной подготовки газа и конденсата: бакалаврская работа / Томский политехнический университет. – Томск, 2018. – 99 с.
6. Лучков С.В., Шестакова М.В., Гатин Р.Н., Муравьев С.Н. Внедрение турбодетандер-генераторных установок, работающих в составе ГРС, для покрытия собственных нужд в электрической энергии АГНКС // Транспорт на альтернативном топливе. – 2008. – № 1. – 2 с.
7. Гафуров А.М., Осипов Б.М. Турбодетандирование природного газа на газораспределительной станции с последующим его сжижением // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2011. – № 2. – 6 с.
8. Головач Ю.А., Михайская О.В., Рыбак Д.Э. Использование детандер-генераторов при редуцировании газа на ГРС // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2023. – № 4. – 4 с.
9. 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 Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2017. – Т. 17, № 2. – 9 с.
10. Зацепин С.С., Купцов С.М. Применение турбодетандерных установок на газораспределительных станциях // Территория НЕФТЕГАЗ. – 2016. – № 12. – 4 с.
11. Воронов В.А., Самигуллин Г.Х., Рузманов А.Ю. Повышение энергетических характеристик газораспределительной станции путем

применения турбодетандера // Международный научно-исследовательский журнал. – 2017. – № 4. – 5 с.

12. Кан Э.К., Мукольянц А.А., Норматов Б.Б. Оценка эффективности применения детандер-генераторных агрегатов вместо дросселя на газораспределительных системах // Universum: Технические науки. – 2024. – № 5 – 7 с.