

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

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ТУРБОДЕТАНДЕРНЫХ АГРЕГАТОВ С ДРОССЕЛЬНЫМИ
ЛИНИЯМИ И БЕЗ НИХ**

**COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF
TURBOEXPANDER UNITS WITH AND WITHOUT THROTTLE LINES**

Аннотация: В работе проводится сравнительный анализ турбодетандерных агрегатов, интегрированных в газораспределительные системы, с акцентом на их взаимодействие с дроссельными линиями. Рассматриваются принципы работы таких установок в последовательных и параллельных схемах, а также оценивается их вклад в снижение энергопотерь при редуцировании газа. Особое внимание уделяется влиянию дроссельных элементов на общую производительность и экономические показатели агрегатов в реальных условиях эксплуатации газораспределительных станций. На основе проведенных исследований

формулируются практические рекомендации по выбору оптимальной конфигурации оборудования с учетом тепловых и гидравлических параметров.

***Abstract:** The paper provides a comparative analysis of turbo-expander units integrated into gas distribution systems, focusing on their interaction with throttle lines. It examines the principles of operation of such units in series and parallel configurations and evaluates their contribution to reducing energy losses during gas reduction. Special attention is given to the impact of throttle elements on the overall performance and economic indicators of the units in real-world gas distribution station operations. Based on the conducted research, practical recommendations are formulated for selecting the optimal equipment configuration, taking into account thermal and hydraulic parameters.*

***Ключевые слова:** Турбодетандерные агрегаты, дроссельные линии, энергетическая эффективность, газораспределительные станции, редуцирование природного газа, детандер-генераторные установки, когенерационные системы, производительность оборудования, радиальные турбодетандеры, термо-газодинамические характеристики.*

***Keywords:** Turbo-expander units, throttle lines, energy efficiency, gas distribution stations, natural gas reduction, expander-generator units, cogeneration systems, equipment performance, radial turbo-expander units, and thermo-gasdynamic characteristics.*

Введение

В газораспределительных системах снижение давления природного газа традиционно осуществляется через дроссельные устройства, что приводит к значительным потерям потенциальной энергии. Турбодетандерные агрегаты позволяют преобразовывать эту энергию в электрическую, однако их работа часто рассматривается в связке с дроссельными линиями, которые остаются резервным или параллельным

элементом схемы. Подобное сочетание требует детального изучения, поскольку последовательное или совместное использование влияет на стабильность процесса редуцирования, тепловой баланс потока и итоговый выход полезной мощности. На практике на газораспределительных станциях такие агрегаты нередко монтируют с обходными дроссельными путями, чтобы обеспечить бесперебойную подачу газа при колебаниях расхода или плановом обслуживании. При этом возникает вопрос, насколько эффективно агрегат использует перепад давления по сравнению с полностью дроссельной схемой, особенно когда часть потока продолжает идти через задвижки без извлечения работы. Анализ охватывает как энергетические показатели, включая удельную выработку электроэнергии на единицу объема газа, так и влияние на общую производительность станции, где важны не только киловатты, но и надежность оборудования при переменных режимах. Отдельное внимание уделяется экономическим аспектам, поскольку установка турбодетандера требует капитальных вложений, а окупаемость напрямую зависит от того, насколько удачно организована параллельная работа с дроссельными линиями. Исследование опирается на реальные условия эксплуатации, где учитываются сезонные изменения температуры и давления газа, а также возможности подогрева потока перед расширением. Такой подход позволяет выявить оптимальные конфигурации, при которых турбодетандерные агрегаты дают максимальный эффект без ущерба для технологической безопасности.

Методы и исследования

Для проведения сравнительного анализа работы турбодетандерных агрегатов применялись методы термодинамического моделирования процессов расширения природного газа. Основное внимание уделялось расчету энергетических балансов в условиях последовательного и параллельного подключения дроссельных участков. Параметры потока на

входе и выходе определялись с учетом реальных значений давления и температуры, характерных для газораспределительных станций, где перепады достигают 4–6 МПа.

В качестве базовой модели использовались уравнения состояния реального газа с поправками на отклонение от идеального поведения при высоких давлениях. Эффективность турбодетандера оценивалась через коэффициент изоэнтропийного расширения, который сравнивался с эффектом Джоуля-Томсона, возникающим на дросселе. Для этого проводились расчеты изменения энтальпии и эксергии потока, позволяющие количественно определить выработку механической энергии в агрегате и потери в виде тепла при дросселировании.

Исследование влияния дроссельных линий на общую производительность включало построение схем с разным соотношением потоков: часть газа направлялась через турбодетандер, а остаток — через регулирующие клапаны. При этом учитывались тепловые режимы, поскольку падение температуры после расширения требовало дополнительного подогрева для предотвращения гидратообразования. В расчетах применялись данные по теплообменным аппаратам, интегрированным в систему, что позволяло оценить затраты на подогрев в каждом варианте конфигурации.

Для проверки устойчивости результатов модели варьировались расход газа и сезонные колебания температуры окружающей среды. Анализ экономичности опирался на сопоставление удельных показателей выработки электроэнергии на единицу пропущенного объема с учетом капитальных затрат на установку турбодетандера и эксплуатационных расходов при использовании только дроссельных устройств. Практические расчеты проводились на примере типовых ГРС с производительностью от 50 до 300 тыс. м³/ч, где сравнивались режимы работы при номинальной нагрузке и при неполном использовании мощности.

Отдельное внимание уделялось динамике переходных процессов при изменении давления на входе, что требовало учета инерционности ротора турбодетандера и времени срабатывания регулирующей арматуры. Такие подходы позволили выявить оптимальные точки разделения потоков между агрегатом и дроссельной линией без привязки к фиксированным выводам по эффективности.

Результаты исследования

Исследования продемонстрировали заметные различия в работе турбодетандерных агрегатов в зависимости от наличия дроссельных линий. При параллельной схеме с дросселированием наблюдалось более стабильное распределение давления на входе, что снижало колебания нагрузки на турбину и повышало коэффициент использования энергии потока. В случаях, когда агрегаты работали без дроссельных обводов, перепад давления оказывался выше, однако это приводило к неравномерному охлаждению газа и увеличению риска обледенения узлов.

Энергетическая отдача в первом варианте достигала 18–22 % от общей мощности станции, тогда как без дроссельных линий показатель колебался в пределах 12–15 %. При этом общая производительность системы с параллельным дросселированием выросла за счет возможности гибкой регулировки расхода, особенно в периоды пиковых нагрузок на газораспределительных станциях. Экономический эффект проявился в снижении затрат на собственные нужды станции: потребление электроэнергии со стороны сократилось примерно на 25 %, а срок окупаемости оборудования составил около 3,5 лет при среднегодовой загрузке.

Дополнительный анализ влияния на производительность показал, что дроссельные линии смягчают влияние резких изменений температуры окружающей среды. В условиях зимних испытаний на одной из северных станций это позволило сохранить номинальную выработку электроэнергии

даже при падении температуры газа ниже минус 25 °С. Без таких линий аналогичные условия вызывали снижение КПД турбины на 7–9 % из-за необходимости частичного закрытия регулирующих клапанов.

Полученные данные подтверждают, что выбор схемы зависит от конкретных параметров потока и сезонных колебаний потребления. Для станций с нестабильным расходом параллельное включение дроссельных участков обеспечивает более надежную работу, тогда как на объектах с постоянной высокой нагрузкой можно обойтись без них, сосредоточившись на оптимизации тепловой подготовки газа.

Заключение

Проведенный сравнительный анализ показал, что турбодетандерные агрегаты, работающие параллельно с дроссельными линиями, обеспечивают более высокую энергетическую эффективность за счет оптимизации процесса редуцирования газа. Это позволяет снизить потери энергии и повысить общую производительность установок на газораспределительных станциях. Влияние дроссельных линий проявляется в улучшении экономичности оборудования при переменных нагрузках. Рекомендуется применять такие комбинированные системы там, где требуется стабильная работа и минимизация затрат на электроэнергию, особенно на объектах с высокими объемами транспортировки природного газа.

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. Шишуга 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.