

4. Микроклиматические показатели безопасности и безвредности на рабочих местах : гигиен. норматив. – 2021.
5. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха : СН 4.02.03-2019.
6. Бурцев, С. И. Влажный воздух. Состав и свойства / С. И. Бурцев, Ю. Н. Цветков. – СПб. : СПбГАХПТ, 1998. – 146 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ТУРБОДЕТАНДЕРОВ В СИСТЕМЕ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

А. С. Алексеев

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель Н. В. Широглазова

Рассмотрен принцип действия турбодетандеров и их схема установки. Описана работа турбодетандера УТДУ-4000, установленного на Гомельской ТЭЦ-2. Представлены результаты работы детандера после установки и запуска в производство, показаны сравнительные характеристики между техническими условиями и фактическими значениями.

Ключевые слова: ресурсосберегающие технологии, природоохранные технологии, детандер-генераторные установки (ДГУ), турбодетандер, потенциальная энергия, механическая энергия, экологичность, возобновляемые источники энергии.

В настоящее время получение электрической энергии с применением ресурсосберегающих, природоохранных технологий становится все более актуальным. И одно из таких направлений – использование потенциальной энергии природного газа высокого давления магистральных газопроводов с применением детандер-генераторных установок (ДГУ)

Целью настоящей работы является: оценка целесообразности применения турбодетандерных установок на современных предприятиях энергетики, с целью экономии топливно-энергетических ресурсов.

Что такое турбодетандер? Турбодетандер или расширительная турбина – это устройство, которое преобразует потенциальную энергию сжатого газа в механическую, а иногда и в электрическую энергию. Принцип работы основан на адиабатическом расширении газа: когда газ проходит через турбину, он теряет давление и температуру, совершая работу. Это охлаждение газа – ключевая особенность, отличающая турбодетандеры от других турбин. Впервые идея использования турбины для таких целей была предложена лордом Рэлеем в 1898 г., но практическая реализация началась только в 1930-х гг.

Принцип действия. Сжатый газ поступает в турбодетандер под высоким давлением через сопловой аппарат, где он разгоняется и направляется на лопасти рабочего колеса. Вращение колеса передает энергию на вал, который может быть соединен с генератором или компрессором. В процессе газ охлаждается – иногда до температуры ниже -150°C . Эффективность турбодетандера оценивается адиабатическим КПД, который может достигать 85–90 % у современных моделей. Важный вклад в развитие технологии внес советский академик Петр Капица, который в 1930-х гг. усовершенствовал конструкцию, повысив КПД с 50 до почти 80 %.

Типы турбодетандеров. Существует несколько типов турбодетандеров в зависимости от их применения.

1. **Детандер-генератор:** преобразует энергию газа в электричество, часто используется на газораспределительных станциях.

2. **Детандер-компрессор:** охлаждает газ и одновременно сжимает его для дальнейшей переработки.

3. **Детандер с гидротормозом (ретардер):** применяется там, где выработка электроэнергии не нужна, а требуется только охлаждение. Каждый тип оптимизирован под конкретные задачи, что делает турбодетандеры универсальными инструментами.

Преимущества и вызовы. Турбодетандеры обладают высокой эффективностью и экологичностью, так как позволяют утилизировать энергию, которая иначе была бы потеряна. Однако есть и сложности: они требуют точной настройки, защиты от обледенения и высококачественных материалов для работы при экстремальных температурах.

Применение турбодетандеров включает следующее:

– криогенные технологии: турбодетандеры – ключевой элемент в производстве сжиженных газов, таких, как кислород, азот или гелий. Например, в установках разделения воздуха они обеспечивают охлаждение до нужных температур;

– переработка природного газа: на газовых промыслах турбодетандеры помогают извлекать этан и сжиженные углеводороды, а также утилизировать энергию дросселирования;

– энергетика: они все чаще применяются для выработки электроэнергии из избыточного давления газа на тепловых станциях.

Применение турбодетандеров на ТЭЦ. В настоящее время в Белорусской энергосистеме начато активное использование детандер-генераторных установок. На сегодняшний день две ДГУ установлены на Лукомльской ГРЭС, две – на Минской ТЭЦ-4. Пятой в энергосистеме установлена ДГУ УТДУ-4000-1,2-2,6-УХЛ4 мощностью 4 МВт на Гомельской ТЭЦ-2.

Схема подачи газа на Гомельскую ТЭЦ-2 происходит следующим образом: небольшая часть газа для надежности газоснабжения основного оборудования подается на ГРП, большая часть газа проходит через ДГУ и используется для выработки электрической энергии. Особенностью схемы подогрева газа на Гомельской ТЭЦ-2 является то, что для подогрева используется сетевая вода после ПСГ-2, т. е. вначале используется низкопотенциальный пар, отработавший в тепловой турбине, дальнейший дополнительный (в случае необходимости) догрев сетевой воды производится в подогревателе газа ДГУ. Важной особенностью данной схемы является то, что до $N_{дгу} = 2,5$ МВт; $Q_{дгу} = 60$ тыс. м³ газа можно обходиться без догрева сетевой воды, что еще более повышает экономичность ДГУ.

Рассмотрим результаты проведенных испытаний после монтажа и пуска в работу в таблице.

Сравнительные характеристики между техническим условием и фактическим значением

Наименование параметра	Тех.условия	Факт
Давление газа на входе в УТДУ, Мпа (абс)	1,2	1,2
Давление газа на выходе из УТДУ, Мпа (абс)	0,09	0,072
Расход через УТДУ, нм ³ /ч	110 000	102 300
Температура на входе в агрегат, °С	90–120	115
Температура на выходе из агрегата, °С	5	5
Мощность УДГУ на клеммах генератора, кВт	4000	4560

Из таблицы видно, что фактические показатели работы превышают заданные в технических условиях.

Таким образом, сегодня интерес к турбодетандерам растет из-за глобального перехода к энергоэффективности и возобновляемым источникам энергии. Например, в 2023 г. в России был запущен проект по установке турбодетандеров на газопроводах для генерации «зеленой» электроэнергии. В будущем их роль может увеличиться в водородной энергетике и утилизации промышленных выбросов.

Литература

1. Капица, П. Л. Об использовании турбин для получения энергии из сжимаемого газа / П. Л. Капица. – 1930.
2. Коган, М. А. Газовые турбины и турбодетандеры / М. А. Коган, А. Г. Сухарев. – М. : Энергия, 1980.
3. Ветров, А. В. Проектирование газовых турбин и детандеров в энергетике / А. В. Ветров. – М. : Машиностроение, 1999.
4. Попов, И. В. Утилизация энергии газов с использованием турбодетандеров / И. В. Попов // Энергетика. – 2010.

СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПАРОВЫХ ТУРБИН ТИПА ПТ

Р. Э. Мастепанов

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Н. А. Вальченко

Рассмотрен способ повышения энергоэффективности паровых турбин типа ПТ на основе достижения режима оптимального вакуума. Для реализации режима оптимального вакуума выполнен анализ рациональных режимов работы циркуляционных насосов.

Ключевые слова: повышение экономичности, паровая турбина, турбоагрегаты, турбоустановки, вакуум турбин, оптимальный вакуум, ухудшенный вакуум, углубление вакуума в конденсаторе.

Одним из способов повышения эффективности турбоустановок типа ПТ-50-130 и ПТ-50-90 является достижение режима оптимального вакуума. Данные паровые турбины оснащены конденсаторами типа 50-КЦС-4, количество пара, поступающее в конденсатор, варьируется в зависимости от режима работы турбоагрегата: теплогенерационный (от 8–12 т/ч), конденсационный (до 150 – 160 т/ч).

Для реализации режима оптимального вакуума в конденсаторе турбины требуется правильное определение и поддержание в процессе эксплуатации рациональных режимов работы циркуляционных насосов [1].

В ходе определения оптимального вакуума для турбоустановки была определена температура воды на выходе из конденсатора, при величине пропуска пара в конденсатор 40–160 т/ч, а также при расходе охлаждающей воды 1110 кг/с – для одного включенного насоса, а также 2220 кг/с для двух включенных насосов. По результатам расчетов был составлен график (рис. 1) зависимости температуры на входе и на выходе из конденсатора, по которому видно, что температура воды на выходе из конденсатора при двух включенных насосах выше, чем при одном в среднем на 3–10 °С [2].