

ТРИГЕНЕРАЦИЯ ЭНЕРГИИ В ТУРБОДЕТАНДЕРНЫХ ФРЕОНОВЫХ УСТАНОВКАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ НА СВЕРХКРИТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРАХ

П. А. Ковальчук, А. И. Аршуков

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

Научный руководитель А. В. Овсянник, канд. техн. наук, доцент

Одним из основных направлений энергосбережения является максимальное использование низкопотенциального тепла, которое в больших количествах сбрасывается в окружающую среду, решение данной проблемы можно осуществить с помощью тригенерационных установок [4].

В качестве рабочего тела турбодетандерного цикла используется озонобезопасный фреон R410a. Выбор НКРТ обусловлен недостаточностью внимания к рассмотрению установок, работающих на основе невзрывобезопасных и озонобезопасных фреонов [1].

Целью работы является определение эксергетического КПД турбодетандерной теплоутилизационной установки, работающей на сверхкритических параметрах рабочего тела, и сравнение полученных данных с данными этой же установки, работающей на докритических параметрах рабочего тела.

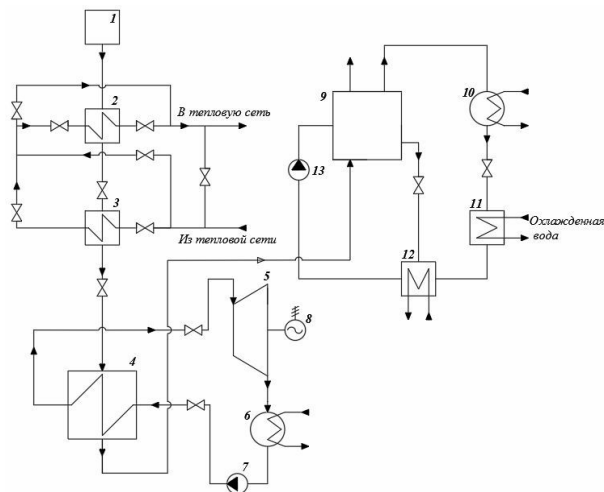


Рис.1. Тригенерационная установка на базе турбодетандера и АБТТ:
1 – источник ВЭР; 2, 3 – теплообменник; 4, 11 – испаритель; 5 – турбодетандер;
6, 10 – конденсатор; 7, 13 – насос; 8 – электрогенератор; 9 – генератор АБТТ;
12 – абсорбер

Принцип работы установки следующий: теплота от ВЭР подается на сетевые подогреватели, где получается тепло в виде горячей воды и отправляется потребителю, далее ВЭР направляются на испаритель турбодетандера, где происходит кипение НКТР, пары НКТР отправляются на турбину, в которой происходит расширение перегретого хладагента до насыщенного состояния и получение электрической энергии. Насыщенный пар после турбины поступает в конденсатор, где происходит конденсация паров хладагента, затем рабочее тело поступает в насос и цикл замыкается. После турбодетандера отработавшие ВЭР направляются на генератор АБТТ для получения холода в виде воды с температурой 4–5 °С.

Для проведения эксергетического анализа нам понадобятся значения энтропии и энтальпии реперных точек цикла [3]. Для получения этих значений построим цикл установки в t - s -диаграмме.

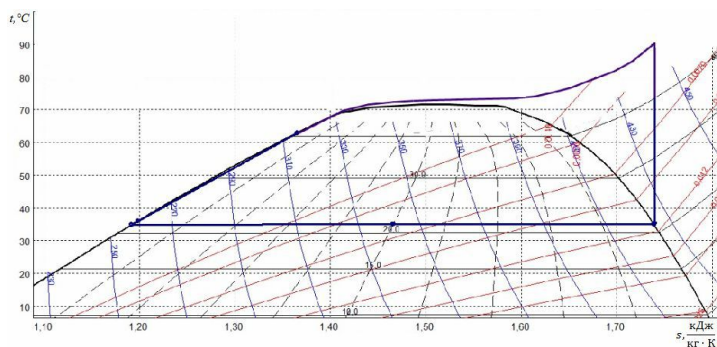


Рис. 2. Диаграмма t - s для фреона R410a с прямым циклом на сверхкритических параметрах

Для проведения эксергетического анализа примем следующие допущения: температура окружающей среды составляет $t_{o,c} = 20$ °С; количество и температура ВЭР, достаточная для обеспечения необходимого температурного напора, при котором температура паров фреона на выходе из испарителя, составит 75 °С. Для обеспечения наглядности полученных данных зададимся еще двумя значениями температуры паров фреона на выходе из испарителя, а именно: 80 и 90 °С. Данные значения выбраны для расчета сверхкритических параметров нагрева и давления выше $p_{кр} = 4,9$ МПа.

Построив цикл утилизационной установки в $t-s$ -диаграмме для R410a, получим следующие данные для проведения эксергетического анализа (табл. 1).

Таблица 1

Исходные данные для проведения эксергетического анализа

| Наименование параметра | Обозначение | Значение для 75 °С | Значение для 80 °С | Значение для 90 °С |
|--|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Температура окружающей среды | $t_{oc},$ °С | 20 | | |
| Температура ВЭР на входе в испаритель | $t'_{ВЭР},$ °С | 170 | | |
| Температура ВЭР на выходе из испарителя | $t''_{ВЭР},$ °С | 85 | | |
| Температура фреона после испарителя | $t''_{х.а},$ °С | 75 | 80 | 90 |
| Температура фреона после конденсатора | $t'_{х.а},$ °С | 35 | 35 | 35 |
| Энтальпия фреона в начале расширения | $h_5,$ кДж/кг | 442,34 | 444,5 | 450,1 |
| Энтальпия фреона в конце расширения | $h'_5,$ кДж/кг | 425,73 | | |
| Энтропия процесса расширения | $s_5,$ кДж/кг · К | 1,7469 | | |
| Действительная энтропия в конце расширения | $s_{5д},$ кДж/кг · К | 1,7544 | | |

Таблица 2

Результаты эксергетического анализа теплоутилизационной установки

| Наименование параметра | Обозначение | Значение для 75 °С | Значение для 80 °С | Значение для 90 °С |
|--|--------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Эксергетическая температура ВЭР | $\tau_{ВЭР}$ | 0,84 | 0,84 | 0,84 |
| Эксергетическая температура фреона | $\tau_{х.а}$ | 0,63 | 0,65 | 0,66 |
| Эксергетический КПД испарителя | $\eta_{исп}$ | 0,75 | 0,77 | 0,78 |
| Коэффициент использования эксергии | R | 0,004 | 0,0041 | 0,004 |
| Относительная потеря эксергии в испарителе | $\xi_{исп}$ | 0,25 | 0,23 | 0,22 |
| Относительная потеря эксергии в детандере | $\xi_{дет}$ | 0,012 | 0,013 | 0,014 |
| Относительная потеря эксергии в конденсаторе | $\xi_{конд}$ | 0,03 | 0,03 | 0,04 |
| Эксергетический КПД установки | $\eta_{уст}$ | 0,51 | 0,52 | 0,53 |

Эксергетический анализ показывает, что установки по утилизации низкопотенциального тепла, работающие на невзрывобезопасном и озонобезопасном низкокипящем рабочем теле, обладают высоким потенциалом повышения эффективности использования топливно-энергетических ресурсов.

По полученным результатам можно сделать вывод о том, что использование НКТР в турбодетандерных фреоновых установках актуально на сверхкритических параметрах в сравнении с докритическими, что подтверждается эксергетическим анализом.

Л и т е р а т у р а

1. Экономическая эффективность утилизации низкопотенциальных вторичных энергетических ресурсов посредством установки турбины на низкокипящем рабочем теле / А. Л. Шубенко [и др.] // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2010. – № 6. – С. 12–22.
2. Гринман, М. И. Перспективы применения энергетических установок малой мощности с низкокипящими рабочими телами / М. И. Гринман, В. А. Фомин // Энергомашиностроение. – 2006. – № 1. – С. 63–69.
3. Бродянский, В. М. Эксергетический метод термодинамического анализа / В. М. Бродянский. – М. : Энергия, 1973.–182 с;
4. Схемы тригенерационных установок для централизованного энергоснабжения / А. В. Клименко, В. С. Агабабов, И. П. Ильина // Теплоэнергетика. – 2016. – № 6. – С. 36–43.