

# **ТРИГЕНЕРАЦИЯ ЭНЕРГИИ В ТУРБОДЕТАНДЕРНЫХ ФРЕОНОВЫХ УСТАНОВКАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ**

**А. И. Аршуков, П. А. Ковальчук**

*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.

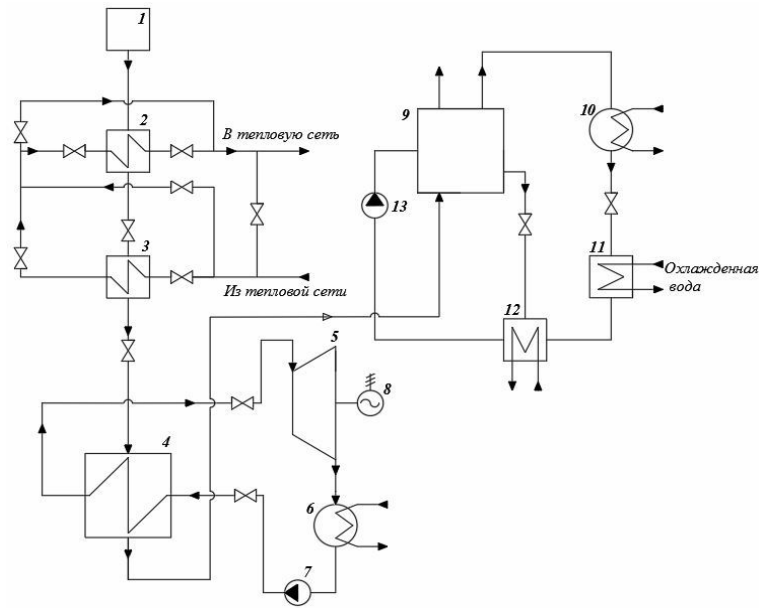


Рис. 1. Тригенерационная установка на базе турбодетандера и АБТТ:  
 1 – источник ВЭР; 2, 3 – теплообменник; 4, 11 – испаритель; 5 – турбодетандер;  
 6, 10 – конденсатор; 7, 13 – насос; 8 – электрогенератор; 9 – генератор АБТТ;  
 12 – абсорбер

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.

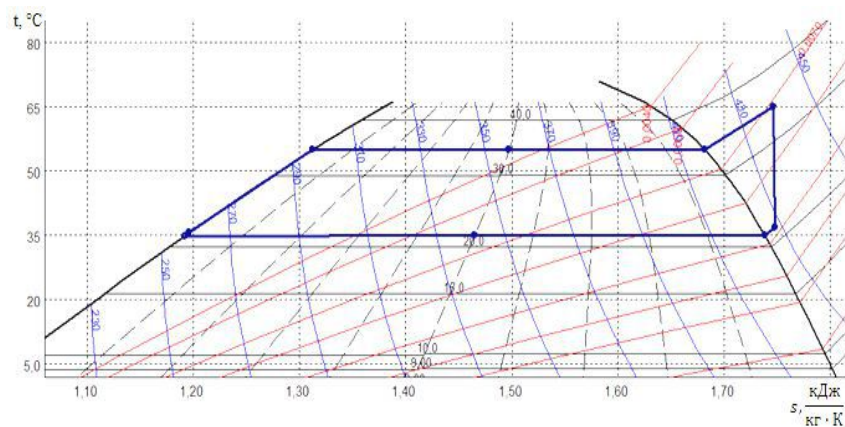


Рис. 2. Диаграмма  $t$ - $s$  для фреона R410a с прямым циклом

Для проведения эксергетического анализа примем следующие допущения: температура окружающей среды составляет  $t_{o,c} = 20$  °С, температура паров фреона на выходе из испарителя составит 65 °С. Для обеспечения наглядности полученных данных зададимся еще двумя значениями температуры паров фреона на выходе из испарителя, а именно: 75 и 80 °С. Данные значения перегрева выбраны из расчета докритических параметров нагрева и давления до 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 65 °С	Значение для 75 °С	Значение для 80 °С
Температура окружающей среды	$t_{o,c},$ °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	$t''_{x.a},$ °С	65	75	80
Температура фреона после конденсатора	$t'_{x.a},$ °С	35	35	35
Энтальпия фреона в начале расширения	$h_5,$ кДж/кг	439,74	456,25	463,66
Энтальпия фреона в конце расширения	$h'_5,$ кДж/кг	430,41	445,83	455,78
Энтропия процесса расширения	$s_5,$ кДж/кг · К	1,7469	1,7950	1,8162
Действительная энтропия в конце расширения	$s_{5д},$ кДж/кг · К	1,7544	1,8031	1,8245

Таблица 2

## Результаты эксергетического анализа теплоутилизационной установки

Наименование параметра	Обозначение	Значение для 65 °С	Значение для 75 °С	Значение для 80 °С
Эксергетическая температура ВЭР	$\tau_{ВЭР}$	0,84	0,84	0,84
Эксергетическая температура фреона	$\tau_{x.a}$	0,59	0,62	0,63
Эксергетический КПД испарителя	$\eta_{исп}$	0,7	0,74	0,75
Коэффициент использования эксергии	$R$	0,0038	0,0037	0,0036

Окончание табл. 2

Наименование параметра	Обозначение	Значение для 65 °С	Значение для 75 °С	Значение для 80 °С
Относительная потеря эксергии в испарителе	$\xi_{\text{исп}}$	0,3	0,26	0,25
Относительная потеря эксергии в детандере	$\xi_{\text{дет}}$	0,011	0,011	0,011
Относительная потеря эксергии в конденсаторе	$\xi_{\text{конд}}$	0,04	0,044	0,054
Эксергетический КПД установки	$\eta_{\text{уст}}$	0,449	0,485	0,455

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.

Изучив возможность работы теплоутилизационных установок на озонобезопасных хладагентах, можно сделать вывод, что представленная тригенерационная установка обладает хорошими потенциалом в области снижения расхода предприятий на топливо и электроэнергию, а также снижения теплового загрязнения атмосферы.

#### 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.