

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

**О. А. Кныш, В. А. Костюченко**

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

Научный руководитель А. В. Овсянник

В настоящее время все больше внимания уделяется поиску как можно более эффективных и безопасных рабочих тел для энергетических установок, а также проблеме использования низкопотенциального тепла [4].

В качестве рабочих тел турбодетандерного цикла используются озонобезопасные фреоны R407C, R410B, R404A. Выбор НКРТ обусловлен недостаточностью внимания к рассмотрению установок, работающих на основе невзрывобезопасных и озонобезопасных фреонов [1].

Целью работы является выявление наиболее эффективного рабочего тела турбодетандерной установки.

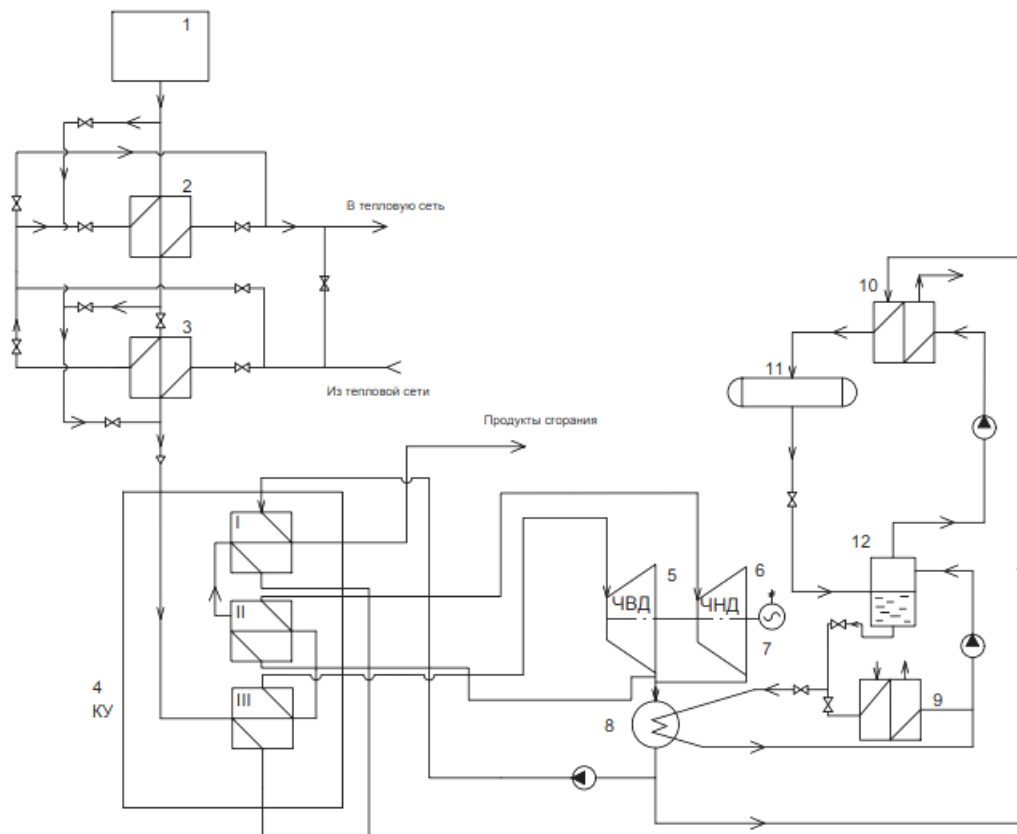


Рис. 1. Схема тригенерационной турбодетандерной установки на вторичных энергоресурсах с котлом-утилизатором: 1 – источник продуктов сгорания; 2, 3 – теплообменник; 4 – котел-утилизатор; 5, 6 – ЧВД и ЧНД турбины; 7 – электрогенератор; 8 – конденсатор-испаритель; 9 – испаритель; 10 – конденсатор; 11 – ресивер; 12 – сепаратор

Принцип работы установки: установка подключается через теплофикационный узел, состоящий из двух теплообменников 2 и 3, к источнику продуктов сгорания. В теплообменниках теплофикационного узла происходит их охлаждение до требуемой температуры, после чего продукты сгорания поступают последовательно в котел-утилизатор 4 на ступень III, где подогревают фреон, направляющийся на ЧВД турбины 5. После ЧВД турбины дымовые газы направляются на II ступень КУ, где подогревают фреон, направляющийся на ЧНД турбины 6. Электрогенератор 7 преобразует механическую энергию вращения вала турбин в электрическую. Следующим шагом жидкий фреон из сепаратора 12 подается в конденсатор-испаритель 8 турбодетандерной установки, кипит, поглощая теплоту конденсации газообразного фреона после его расширения в ЧВД и ЧНД. Далее одна часть фреона перекачивается в КУ, а другая идет на I ступень холодильной установки и, проходя через конденсатор и линейный ресивер, с помощью регулирующего вентиля поступает в сепаратор 12.

Для проведения термодинамического расчета понадобятся значения реперных точек цикла [3]. Для получения этих значений построим цикл установки на рН-диаграмме.

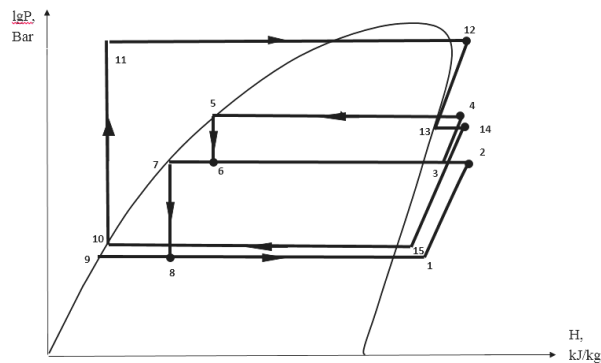


Рис. 2. Цикл турбодетандерной установки с докритическими параметрами

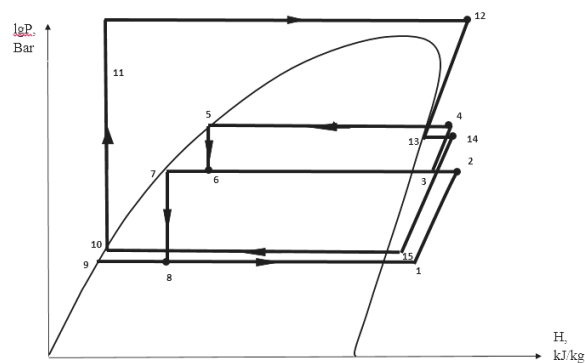


Рис. 3. Цикл турбодетандерной установки с закритическими параметрами

Для проведения термодинамического расчета примем холодопроизводительность  $Q = 2$  МВт.

Построив цикл турбодетандерной установки с докритическими и закритическими параметрами в  $p-h$ -диаграмме для сравниваемых R407C, R410B, R404A, получаем следующие данные термодинамического расчета (таблица).

#### Термодинамические данные сравниваемых хладагентов

Наименование параметра	Докритические параметры			Закритические параметры		
	R404a	R410b	R407c	R404a	R410b	R407c
Удельная работа сжатия фреона в трехступенчатом компрессоре, кДж/кг	39	50	48	39	50	48
Удельная работа расширения фреона в турбодетандере, кДж/кг	54	63	73	60	71	90
Теоретическая мощность сжатия фреона в компрессоре, кДж/с	461,54	454,54	452,83	461,54	454,54	452,83
Индикаторная мощность, потребляемая компрессором, кДж/с	542,99	534,76	532,74	542,99	534,76	532,74

Окончание

Наименование параметра	Докритические параметры			Закритические параметры		
	R404a	R410b	R407c	R404a	R410b	R407c
Эффективная мощность (на валу) компрессора, кДж/с	678,74	668,45	665,93	678,74	668,45	665,93
Электрическая мощность, потребляемая компрессором из сети, кДж/с	1005,5	990,3	986,56	1005,5	990,3	986,56
Электрическая мощность, полученная в генераторе турбодетандера, кДж/с	1548,3	1379,4	1590	1719,9	1554,6	1951,1

Исходя из термодинамического расчета, можно сделать вывод, что наиболее эффективным в турбодетандерной установке будет хладагент R407c, так как при использовании хладагента уменьшается массовый расход и уменьшается энергопотребление установки.

#### Литература

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. Клименко, А. В. Схемы тригенерационных установок для централизованного энергоснабжения / А. В. Клименко, В. С. Агабабов, И. П. Ильина // Теплоэнергетика. – 2016. – № 6. – С. 36–43.