

- Филиал ПАО «Компания «Сухой» ОКБ «Сухого» ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель, 2020. – С. 198–200.
3. Савкова, Т. Н. Прогнозирование остаточного ресурса светодиодного светительного устройства / Т. Н. Савкова, Г. И. Селиверстов Ю. Н. Колесник // Перспективы инновационного развития угольных регионов России : сб. тр. VII Междунар. науч.-практ. конф., Прокопьевск, 13–14 апр. 2022 г. / КузГТУ. – Прокопьевск, 2020. – С. 166–169.
 4. Савкова, Т. Н. Калориметрический способ определения тепловых характеристик мощных светодиодов / Т. Н. Савкова, А. И. Кравченко, Ю. Н. Колесник // Естеств. и техн. науки. – 2016. – № 11. – С. 152–155.
 5. Colorimetric method of determining the temperature of the active region of high-power leds / T. Savkova [et al.] // Danish scientific journal. – 2018. – Vol. 2, N 18. – P. 32–36.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТРИГЕНЕРАЦИОННЫХ УСТАНОВОК НА ОРГАНИЧЕСКОМ ЦИКЛЕ РЕНКИНА И ПАРОСИЛОВЫХ УСТАНОВОК

В. Ю. Шлегель

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

Научный руководитель А. В. Овсянник

Направлена на сравнение тригенерационных установок на органическом цикле Ренкина и паросиловых установок. Разработанная схема полигенерации позволяет вырабатывать не только электричество, теплоту и холод, но и дополнительно производить углекислоту в жидком и газообразном состоянии. При помощи разработанной запатентованной программы по моделированию полигенерационных установок произведен эксергетический анализ когенерационного, тригенерационного и полигенерационного способов утилизации вторичных энергетических ресурсов. Получены экономические показатели исследуемых вариантов схем. Проведен их технико-экономический анализ. Наилучшими технико-экономическими показателями обладает полигенерационная установка на диоксиде углерода с динамическим сроком окупаемости 3,2 года при ставке дисконтирования 10 %.

Ключевые слова: тригенерационная установка на органическом цикле Ренкина, паросиловая установка.

В работе предложены схемы тригенерационного и полигенерационного способов утилизации вторичных энергетических ресурсов на базе турбин на органическом цикле Ренкина с промежуточным перегревом и сверхкритическими параметрами рабочего тела. В качестве рабочих тел схем тригенерации и полигенерации рассматривались озонобезопасный хладагент R410A и диоксид углерода соответственно. Полезное использование полученной из продуктов сгорания углекислоты позволяет снизить выбросы диоксида углерода в атмосферу. Для сравнения предложена когенерационная схема с классическим циклом Ренкина на водяном паре. Получены экономические показатели исследуемых вариантов схем и осуществлен их технико-экономический анализ.

Все более широкое применение в малой энергетике находят схемы на органическом цикле Ренкина (ОЦР) (рис. 1), в котором в качестве рабочих тел используются органические вещества с более низкой, чем у воды температурой кипения.

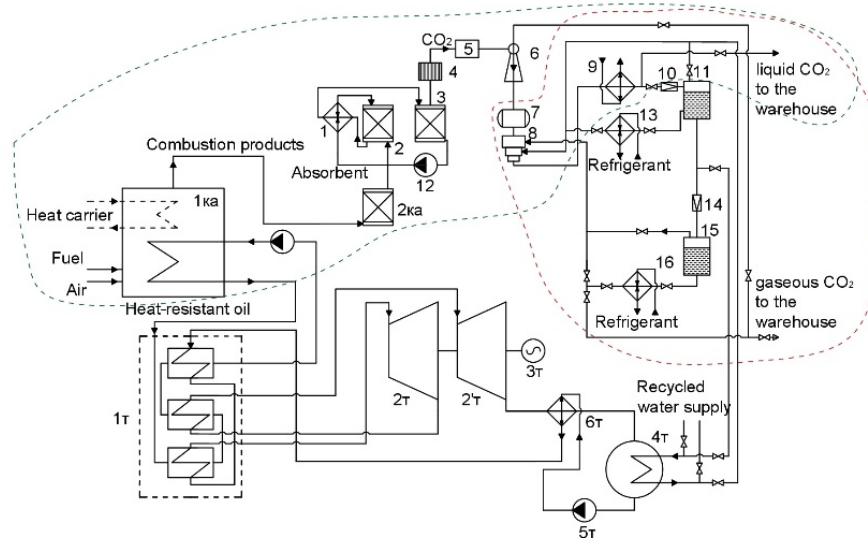


Рис. 1. Схема на органическом цикле Ренкина

Разработана схема полигенерационной установки (рис. 1), которая объединяет в себе ОЦР-установку и установки по производству углекислоты и холода: котлоагрегат $1ka$, турбина $2t$, где генератор $3t$ – часть низкого давления турбины $2't$, теплообменный аппарат $6t$, конденсатор $4t$, насос $5t$, очистительная установка $2ka$, абсорбер 2 , затем десорбер 3 , инжектор 6 , ресивер 7 , компрессор 8 , теплообменник-конденсатор 9 , регулирующий вентиль 10 , сепаратор 11 , теплообменник-испаритель 13 , ступень дросселирования 14 , сепаратор 15 , теплообменник-испаритель 16 .

Термодинамический и технико-экономический анализ. Для проведение термодинамического анализа когенерационных, тригенерационных и полигенерационных турбоустановок разработана программа (рис. 2). Она позволяет рассчитывать все варианты схем и определять термодинамически оптимальные параметры рабочего тела для ОЦР.

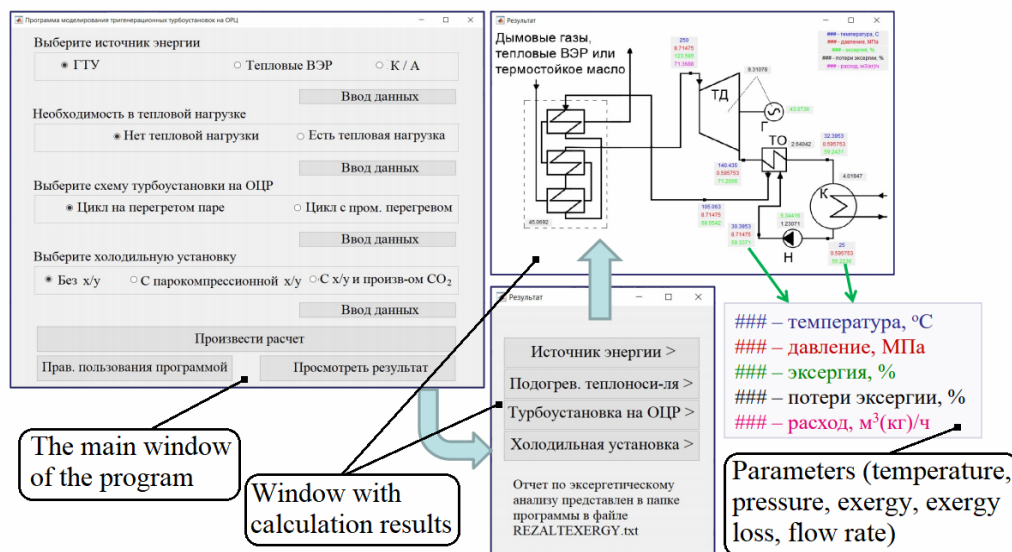


Рис. 2. Программа для проведение термодинамического анализа когенерационных, тригенерационных и полигенерационных турбоустановок

Полученные результаты и их анализ. Результаты термодинамического и технико-экономического анализа представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты термодинамического и технико-экономического анализа

Показатель	Способ утилизации вторичных энергетических ресурсов		
	Когенерация	Тригенерация	Полигенерация
Отпуск электрической энергии, $\times 10^3$ МВт · ч/год	11,3	13,7	11,8
Отпуск тепловой энергии, $\times 10^3$ МВт · ч/год	7,4	7,4	7,4
Отпуск холода (+4 °С), $\times 10^3$ МВт · ч/год	–	1,5	1,5
Отпуск холода (–18 °С), $\times 10^3$ МВт · ч/год	–	2,2	2,2
Отпуск жидкого CO ₂ , $\times 10^3$ т/год	–	–	1,4
Отпуск газообразного CO ₂ , $\times 10^3$ т/год	–	–	2,8
Экономический эффект, $\times 10^6$ \$/год	1,3	1,6	2,2
Стоимость установки, $\times 10^6$ \$	2,3	2,5	3,3
Расходы на эксплуатацию, $\times 10^6$ \$/год	0,2	0,2	0,3
Статический срок окупаемости, лет	4,9	3,5	2,6
Внутренняя норма доходности, %	19,7	28,5	37,9
Динамический срок окупаемости, лет	7,1	4,5	3,2
Чистый дисконтированный доход, $\times 10^6$ \$	1,6	3,7	7,3

Из табл. 2 следует, что все варианты схем утилизации вторичных энергетических ресурсов обладают приемлемыми технико-экономическими показателями и могут быть использованы на предприятиях. Наименьшая эффективность у когенерационной паросиловой установки на водяном паре с динамическим сроком окупаемости 7,1 года при ставке дисконтирования 10 %. Срок окупаемости установки (динамический срок окупаемости снижается с 7,1 до 4,5 года). Наилучшими показателями обладает полигенерационная установка на диоксиде углерода. Несмотря на снижение количества отпускаемой электрической энергии, такая компоновка схемы позволяет производить углекислоту в жидком и газообразном состоянии в объеме 4,2 тыс. т в год, что положительно сказывается на экологической безопасности предприятия и улучшает его экономические показатели, а динамическим сроком окупаемости установки снижается с 4,5 года (для тригенерации) до 3,2 года.

Таким образом, разработанная схема полигенерации является наилучшим из предлагаемых вариантов утилизации вторичных энергетических ресурсов, и не только обладает хорошими экономическими показателями эффективности (статический срок окупаемости – 2,6 года; динамический срок окупаемости – 3,2 года; чистый дисконтированный доход – 7,3 млн долл. США; внутренняя норма доходности – 37,9 %), но и дает возможность полезно использовать выбрасываемый в атмосферу диоксид углерода, тем самым снижая углеродный след предприятия.

Литература

1. Овсянник, А. В. Тригенерационные турбоустановки на основе низкокипящих рабочих тел / А. В. Овсянник, В. П. Ключинский // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энергет. об-ний СНГ. – 2022. – № 3 (65). – С. 263–275.
2. Овсянник, А. В. Разработка компьютерной программы для оптимизации параметров низкокипящего рабочего тела в турбодетандерной установке / А. В. Овсянник, В. П. Ключинский // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2020. – № 3/4. – С. 108–115.
3. Ключинский, В. П. Разработка компьютерной программы для оптимизации параметров низкокипящего рабочего тела в турбодетандерной установке / В. П. Ключинский, А. В. Овсянник // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XX Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 23–24 апр. 2020 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель, 2020. – С. 130–132.

ТРИГЕНЕРАЦИЯ ЭНЕРГИИ В ТУРБОДЕТАНДЕРНЫХ УСТАНОВКАХ НА ДИОКСИДЕ УГЛЕРОДА ПРИ СВЕРХКРИТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРАХ

И. О. Свидинский

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

Научный руководитель А. В. Овсянник

Рассмотрено изучение способов повышения энергетической эффективности тепло-энергоустановок и снижения их тепловых потерь. Исследования проведены для четырех схем турбодетандерного цикла. Были изучены принципы их работы, а также принцип работы тригенерационной турбодетандерной установки на сверхкритических параметрах тела.

Ключевые слова: тригенерация, хладагент, энергоэффективность, исследование, фреон.

В настоящее время особое внимание уделяется поиску наиболее эффективных и безопасных рабочих тел для энергетических установок прямого и обратного циклов. Одними из таких рабочих тел являются природные хладагенты, в частности, диоксид углерода. Точка зрения о вреде фреонов и пользе натуральных хладагентов в настоящее время стала доминирующей как в ЕС, так и во всем мире.

На рис. 1 представлены теоретические циклы турбодетандерного и углекислотного контуров в диаграмме $\lg p$ – b с полным промежуточным охлаждением.

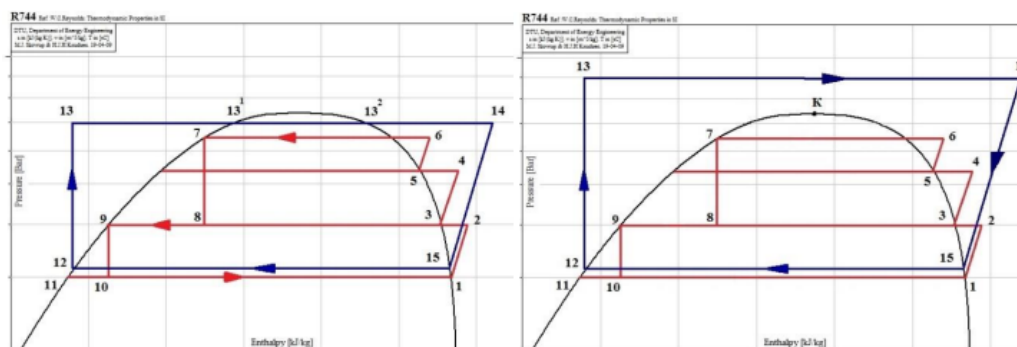


Рис. 1. Теоретические циклы турбодетандерного и углекислотного контуров в диаграмме $\lg p$ – b с полным промежуточным охлаждением