

## ТРИГЕНЕРАЦИОННАЯ ПАРОГАЗОВАЯ УСТАНОВКА С КОТЛОМ-УТИЛИЗАТОРОМ И ТУРБОДЕТАНДЕРОМ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА ПРИ ДОКРИТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРАХ

П. А. Ковальчук

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

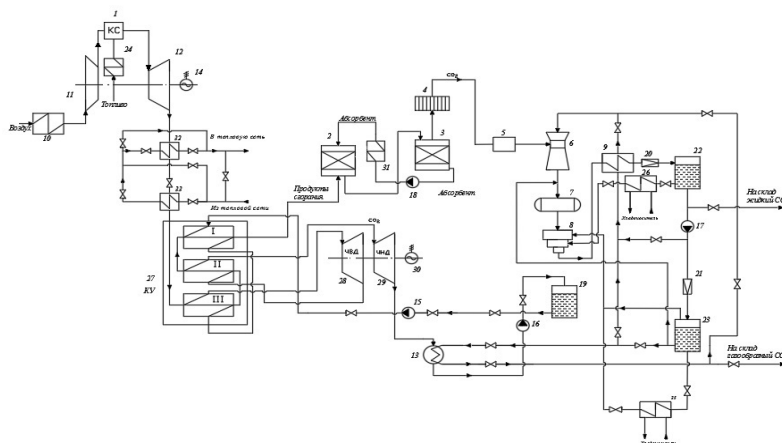
Научный руководитель А. В. Овсянник, канд. техн. наук, доцент

Рациональное использование природных ресурсов – одна из наиболее актуальных задач энергетики. Повышение термодинамической и технико-экономической эффективности генерации энергии различных видов необходимо рассматривать как один из возможных путей решения этой задачи.

В настоящее время все больше и больше внимания уделяется поиску как можно более эффективных и безопасных рабочих тел для энергетических установок прямого и обратного циклов. Одними из таких рабочих тел являются природные хладагенты и, в частности, диоксид углерода. Точка зрения о вреде фреонов и пользе натуральных хладагентов ныне является доминирующей. Основными преимуществами применения  $\text{CO}_2$  в холодильной технике в сравнении с ГФУ-хладагентами являются их эффективность, безопасность, экологичность и низкая стоимость [2].

На основании энергетических, технических и экологических показателей использования  $\text{CO}_2$  в энергетических установках для получения электрической, тепловой энергии и холода предлагается использование диоксида углерода для получения этих видов энергии в детандерном цикле. Отличительной особенностью такой установки является то, что используется только один хладагент –  $\text{CO}_2$ .

Схема тригенерационной установки на диоксиде углерода с производством жидкой и газообразной углекислоты представлена на рис. 1.



*Рис. 1.* Схема тригенерационной парогазовой турбодетандерной установки с котлом-утилизатором: 1 – камера сгорания; 2 – абсорбер; 3 – десорбер; 4 – брызгоотделитель; 5 – осушитель; 6 – инжектор; 7 – ресивер; 8 – компрессор; 9 – конденсатор; 10 – воздухоподогреватель; 11 – турбокомпрессор; 12 – газовая турбина; 13 – конденсатор-испаритель; 14, 30 – электрогенератор; 15, 16, 17, 18 – насос; 19 – сборник; 20, 21 – регулирующий вентиль; 22 – сепаратор 1; 23 – сепаратор 2; 24, 31, 32, 33 – теплообменник; 25, 26 – испаритель; 27 – котел-утилизатор; 28, 29 – ЧВД и ЧНД турбины, соответственно

Принцип работы установки следующий: в теплообменник 24 подается топливо, где оно впоследствии нагревается и подается в камеру сгорания (КС) 1, туда же через теплообменник 10 и турбокомпрессор 11 подается воздух. В КС 1 топливовоздушная смесь сгорает и образует дымовые газы. Дымовые газы поступают в газовую турбину 12. Электрогенератор 14 преобразует механическую энергию вращения турбины в электроэнергию. Отработанные дымовые газы из ГТУ поступают в сетевые подогреватели 32, 33, затем – в котел-утилизатор 27 на ступень III, где они подогревают газообразный  $\text{CO}_2$ , направляющийся на ЧВД турбины 28. После ступени III дымовые газы направляются в ступень II, где подогревают газообразный  $\text{CO}_2$ , направляющийся на ЧНД турбины 29. Электрогенератор 30 преобразует механическую энергию вращения вала турбины в электроэнергию.

После котла-утилизатора продукты сгорания поступают последовательно в абсорбер 2 с поглощением газообразной углекислоты из продуктов сгорания и десорбер 3, где осуществляется выделение из абсорбента  $\text{CO}_2$ . После десорбера углекислый газ поступает через брызгоотделитель 4 и осушитель 5 в инжектор 6, где инжектируется в линейный ресивер 7, при этом его давление повышается до давления всасывания в компрессоре первой ступени 8. После трехступенчатого компрессора 8 газообразный  $\text{CO}_2$  направляется в конденсатор 9, охлаждается и поступает на первое дросселирование в дроссельное устройство 20, после которого температура и давление  $\text{CO}_2$  снижаются, и далее – в сепаратор 22. Отделившаяся в сепараторе жидкая фаза  $\text{CO}_2$  поступает на второе дросселирование в дроссельное устройство 21, где опять происходит снижение температуры и давления. Жидкий диоксид углерода из сепаратора 23 подается в конденсатор-испаритель 13 турбогенераторной установки, кипит, поглощая теплоту конденсации газообразного  $\text{CO}_2$  после его расширения в ЧВД 28 и ЧНД 29. Образовавшийся в результате кипения  $\text{CO}_2$  газ направляется в инжектор 6, инжектирует газообразный  $\text{CO}_2$  после десорбера 3 и накапливается в линейном ресивере 7. Часть жидкой углекислоты после сепаратора 22 подается на конденсатор 9 для конденсации сжатой газообразной  $\text{CO}_2$  после компрессора 8.

Из ресивера-накопителя 19 жидкий  $\text{CO}_2$  подается насосом 15 последовательно в испаритель I котла-утилизатора 27, где испаряется, после чего поступает на ступень III котла-утилизатора 27, где парообразный  $\text{CO}_2$  перегревается и отправляется на ЧВД турбины 28. После ЧВД  $\text{CO}_2$  поступает на ступень II котла-утилизатора 27, где осуществляется второй перегрев, после чего  $\text{CO}_2$  поступает на ЧНД турбины 29. Затем  $\text{CO}_2$  конденсируется в конденсаторе 13 и насосом 16 опять подается в ресивер-накопитель 19. Турбодетандерный контур (ЧВД 28 и ЧНД 29 – котел-утилизатор 27 – конденсатор-испаритель 13 – насос 16 – ресивер-накопитель 19) может работать как на цикле с докритическими параметрами, так и на цикле с закритическими (транскритическими) параметрами.

На рис. 2 показаны циклы описанной установки.

Циклы состоят из следующих процессов: 12–13 – повышение давления жидкого  $\text{CO}_2$  в насосе 16; 13–131 – нагрев жидкого  $\text{CO}_2$  до температуры кипения в испарителе I; 131–132 – изобарно-изотермический процесс кипения  $\text{CO}_2$  в испарителе I; 13–14 – перегрев газообразного  $\text{CO}_2$  в пароперегревателе III котла-утилизатора 27; 14–15 – адиабатное расширение газообразного  $\text{CO}_2$  в ЧВД 28; 15–16 – второй перегрев газообразного  $\text{CO}_2$  в ступени II котла-утилизатора 27; 16–17 – адиабатное расширение газообразного  $\text{CO}_2$  в ЧНД 29; 17–12 – изобарно-изотермический процесс конденсации диоксида углерода в конденсаторе-испарителе 13. Для холодильного цикла: процесс 1–2 – адиабатное сжатие газообразного  $\text{CO}_2$  в компрессоре первой ступени; 2–3 – охлаждение  $\text{CO}_2$  перед компрессором второй ступени; 3–4 – адиабатное сжатие

CO<sub>2</sub> в компрессоре второй ступени; 4–5 – промежуточное охлаждение CO<sub>2</sub> перед компрессором третьей ступени; 5–6 – адиабатное сжатие CO<sub>2</sub> в компрессоре третьей ступени; 6–7 – охлаждение и конденсация газообразного CO<sub>2</sub> в конденсаторе 9; 7–8 – первое адиабатное дросселирование жидкого диоксида углерода в дросселе 20 в сепараторе 22; 9–10 – второе адиабатное дросселирование CO<sub>2</sub> в дросселе 21 в сепараторе 3; 11–1 – кипение жидкого CO<sub>2</sub> в конденсаторе-испарителе 13.

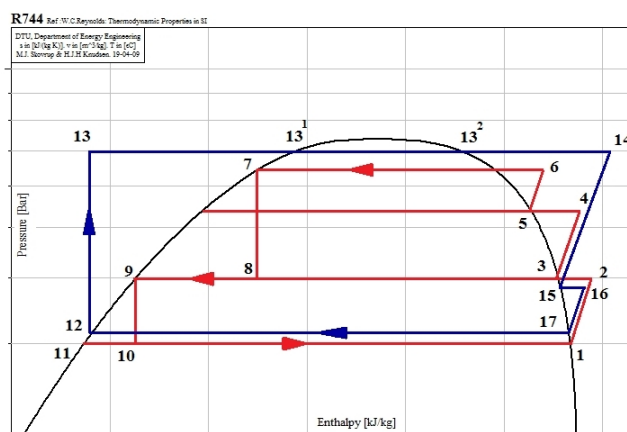


Рис. 2. Цикл турбодетандерной тригенерационной установки на диоксиде углерода с двукратным перегревом

Предложенная технологическая схема турбодетандерной тригенерационной установки с циклом на основе диоксида углерода и производством жидкой и газообразной углекислоты является одним из решений перспективного направления комбинированного производства энергии и экономии энергоресурсов. Отличительная особенность установки – это то, что используется только один хладагент – CO<sub>2</sub>, а также происходит производство углекислоты в жидком и газообразном состоянии, которую можно использовать для других целей.

Применение тригенерационных установок позволит обеспечить централизованное хладоснабжение наряду с теплом и электроэнергией конкретное предприятие, торговый центр, стадион и так далее, что является одним из перспективных решений в области энергетики и грамотном природопользовании.

Использование CO<sub>2</sub> в турбодетандерных установках актуально и изучив возможность работы теплоутилизационных установок на CO<sub>2</sub>, можно сделать вывод, что представленная тригенерационная установка на базе турбодетандера обладает хорошим потенциалом в области снижения расхода предприятий на топливо и электроэнергию, а также снижения теплового загрязнения атмосферы.

#### Литература

1. Клименко, А. В. Возможность применения холода и дополнительной электроэнергии на тепловой электростанции / А. В. Клименко, В. С. Агабабов, П. Н. Борисова // Теплоэнергетика. – 2017. – № 6. – С. 30–37.
2. Преимущества CO<sub>2</sub> в холодильной технике / По материалам JARN // Холодильн. техника. – 2016. – № 3. – С. 25.
3. Агабабов, В. С. О применении детандер-генераторных агрегатов в газовой промышленности / В. С. Агабабов // Энергосбережение и энергосберегающие технологии в энергетике газовой промышленности : сб. материалов науч.-техн. семинара ОАО «Газпром». – М., 2001. – Т. 2. – С. 50–53.