

УДК 658.261:621.56

ТРИГЕНЕРАЦИЯ ЭНЕРГИИ В ТУРБОДЕТАНДЕРНЫХ УСТАНОВКАХ НА ДИОКСИДЕ УГЛЕРОДА

А. В. Овсянник

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

В настоящее время все больше и больше уделяется внимания 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 как в Европейском союзе (ЕС), так и в мире. Соответствующие законы в ЕС уже приняты и исполняются; все крупные европейские компании уже давно «вписали» холодильные системы на CO_2 в свои технические задания и проектные решения, а сейчас, спустя несколько лет после первых успешных внедрений таких установок, в крупных компаниях идет тиражирование ранее отработанных решений.

Можно определенно надеяться, что системы на CO_2 по мере роста их числа и вывода из оборота фреоновых компонентов станут дешевле фреоновых аналогов и, что не менее важно, станут экологически более привлекательными и безопасными [3].

Основными преимуществами применения CO_2 в холодильной технике в сравнении с ГФУ-хладагентами является их эффективность, безопасность, экологичность и низкая стоимость, а также соответствие самым последним тенденциям в законодательстве [2].

Говоря о преимуществах CO_2 , важно отметить, что этот хладагент также имеет ряд особенностей. В отличие от традиционных хладагентов CO_2 , помимо более высокой области рабочих давлений имеет высокую тройную и низкую критическую точки. Тройную точку CO_2 ($-56,6$ °C; 5,2 бар), на практике связанную с выпадением «сухого льда», следует учитывать при установке и обслуживании системы. Учет критической точки CO_2 ($+31,1$ °C; 73,6 бар) важен как при обслуживании, так и при проектировании систем на диоксиде углерода.

Диоксид углерода может быть также использован как самостоятельный хладагент. Компрессорно-конденсаторные агрегаты в этом случае работают с большей эффективностью, чем агрегаты на фреонах, в холодном и умеренном климате. Все три варианта, т. е. системы непосредственного охлаждения на углеводородах, системы с промежуточным хладоносителем и пароконденсационные системы на CO_2 технически осуществимы, что подтверждается успешной их реализацией в промышленности [2], [3].

При применении CO_2 как хладагента для небольших систем непосредственного охлаждения годовое энергопотребление в умеренном климате обычно меньше, чем при использовании фреонов (ГФУ) [3]. Преимущества CO_2 перед ГФУ-хладагентами, такие, как эффективность, безопасность, экологичность, низкая стоимость и соответствие самым последним тенденциям в законодательстве, рассмотрены в [2].

На основании рассмотренных энергетических, технических и экологических предпосылок использования CO_2 в энергетических установках для получения тепловой энергии и холода предлагается использование диоксида углерода для получения электрической и тепловой энергии и холода в детандерном цикле. Отличительной особенностью такой установки является то, что используется только один хладагент – CO_2 .

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

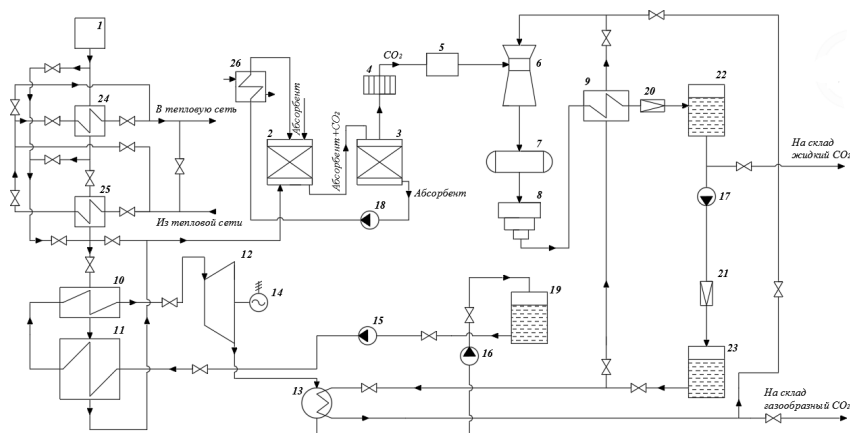


Рис. 1. Схема детандерной установки с производством жидкой и газообразной углекислоты:

- 1 – источник продуктов сгорания; 2 – абсорбер; 3 – десорбер;
 4 – брызгоотделитель; 5 – осушитель; 6 – инжектор; 7 – ресивер;
 8 – компрессор; 9 – конденсатор; 10 – перегреватель; 11 – испаритель;
 12 – паровая турбина; 13 – конденсатор; 14 – электрогенератор;
 15, 16, 17, 18 – насос; 19 – сборник; 20, 21 – регулирующий вентиль;
 22 – сепаратор 1; 23 – сепаратор 2; 24, 25, 26 – теплообменник

Совершенствование и повышение энергетической эффективности теплоэнергостановок связано с разработкой и внедрением парогазовых установок (ПГУ) утилизационного типа. При этом, в частности, достигается высокое значение КПД по отпуску электрической энергии. Кроме того, дополнительными преимуществами ПГУ с котлами утилизаторами являются низкий уровень выбросов NO_x в атмосферу и малая потребность установки в охлаждающей воде [4].

Одним из основных направлений совершенствования парогазовых энергоустановок является внедрение промежуточного перегрева пара (газа), частично отработавшего в турбодетандере. Это позволяет повысить КПД турбодетандера за счет подвода к газу дополнительного количества теплоты, в результате чего возрастает полезный теплоперепад в турбодетандере. Это приводит к увеличению электрической мощности турбодетандерной установки и увеличению отпуска электрической энергии. Кроме того, увеличивается степень сухости газообразного диоксида углерода на лопатках последней ступени турбодетандера, что повышает надежность и долговечность работы его лопаток.

Необходимо отметить еще одно положительное обстоятельство работы ПГУ с котлом утилизатором. Использование в турбодетандерных установках в качестве рабочего тела диоксида углерода позволяет проводить процессы парообразования и перегрева при более низких температурах газа после газовой турбины (не выше $250\text{ }^\circ\text{C}$), что значительно снижает температурные напряжения в лопаточном аппарате турбодетандера и повышает надежность и долговечность его работы. Кроме того, снижение температуры газов после газовой турбины приводит к увеличению полезного теплоперепада в ГТУ. При этом увеличиваются ее электрическая мощность и отпускаемая электрическая энергия газотурбинной установки.

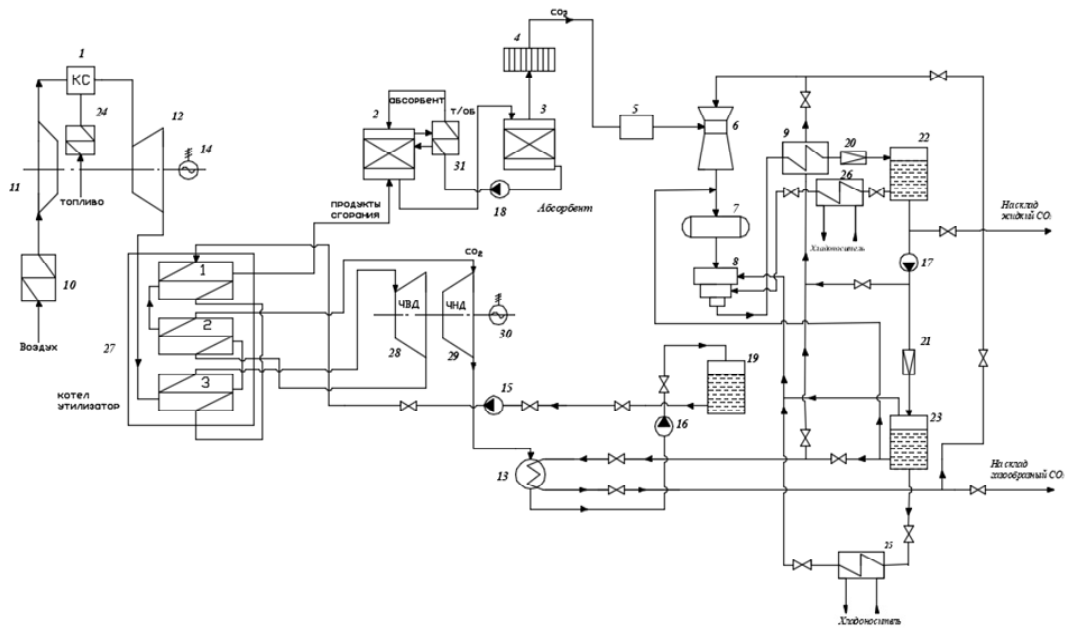


Рис. 2. ПГУ с котлом утилизатором на диоксиде углерода с промежуточным перегревом:

- 1 – камера сгорания; 2 – абсорбер; 3 – десорбер; 4 – брызгоотделитель;
 5 – осушитель; 6 – инжектор; 7 – ресивер; 8 – компрессор; 9 – конденсатор;
 10 – теплообменник; 11 – турбокомпрессор; 12 – газовая турбина;
 13 – конденсатор; 14 – электрогенератор; 15, 16, 17, 18 – насосы; 19 – сборник;
 20, 21 – регулирующий вентиль; 22 – сепаратор 1; 23 – сепаратор 2;
 24 – теплообменник; 25, 26 – испарители; 27 – котел утилизатор;
 28 – ЧВД турбодетандера; 29 – ЧНД турбодетандера; 30 – электрогенератор;
 31 – теплообменник

Получение холода в установке (тригенерация энергии) осуществляется в испарителях 25 и 26 (рис. 2) и в испарителях, устанавливаемых после дросселей 20 и 21 (рис. 1). Это приводит к повышению энергетической эффективности установки. Холод может использоваться в системах кондиционирования воздуха и в системах хранения продукции при пониженных температурах.

Л и т е р а т у р а

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 CO₂ в холодильной технике / По материалам JARN // Холодильная техника. – 2016. – № 3. – С. 25.
3. Современные альтернативные хладагенты на длительную перспективу и их возможные области применения / По материалам JARN // Холодильная техника. – 2016. – № 6. – С. 4–9.
4. Кудинов, А. А. Двукратный промежуточный перегрев водяного пара в зоне высоких температур и в хвостовой части трехконтурного котла утилизатора / А. А. Кудинов, К. Р. Хусаинов // Пром. энергетика. – 2018. – № 2. – С. 21–27.