

**ЧИСТЫЕ УГОЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ. ГАЗИФИКАЦИЯ.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НИЗКОСОРТНЫХ ТОПЛИВ И ТКО**

УДК 624.9

А. Е. Алексеев, П. Ю. Худяков

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

artyom97evg@gmail.com

**РАЗРАБОТКА ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО
ТЕПЛООБМЕННИКА ДЛЯ НАГРЕВА РАБОЧЕГО ТЕЛА В
СОСТАВЕ ЗГТУ**

В работе проведен анализ достоинств и недостатков газотурбинной установки с замкнутым циклом. Также рассмотрено несколько существующих и перспективных разработок в области высокотемпературных аппаратов. Выполнено сравнение и сделаны выводы о применимости методов по снижению температуры стенки. Произведен тепловой расчет теплообменника.

Ключевые слова: теплообменник, CO_2 , высокотемпературный теплообменник, температура стенки.

A. E. Alekseev, P. Yu. Khudyakov

Ural Federal University, Ekaterinburg

**DEVELOPMENT OF HIGH-TEMPERATURE HEAT EXCHANGER
FOR WORKING MEDIUM HEATING IN COMPOSITION OF CGTP**

The analysis of advantages and disadvantages of gas turbine plant with closed cycle was carried out. Several existing and promising developments in the field of high-temperature devices are also considered. A comparison was made and conclusions were drawn on the applicability of methods to reduce wall temperature. Heat exchanger heat calculation was performed.

Keywords: heat exchanger; CO_2 ; high temperature; wall temperature.

В настоящее время работы по совершенствованию и созданию

новых высокоэффективных газотурбинных установок замкнутого типа (ЗГТУ), использующих в качестве рабочего тела сжатый углекислый газ, ведутся во всем мире, прежде всего с точки зрения развития автономной альтернативной энергетики. Примером может служить исследование ЗГТУ в качестве альтернативного цикла для установки концентрической солнечной энергии [1]. В рамках исследования для снабжения мобильной компрессорной установки был взят в проработку теплообменник, находящийся в составе ЗГТУ с целью снижения стоимость установки в целом и замены дорогостоящей линии электропередач.

Для начала рассмотрим достоинства и недостатки ЗГТУ. Достоинства: рабочее тело – любой газ, отсутствие эрозии, работа на любом виде топлива, высокое давление газа перед компрессором, неизменный КПД в широком диапазоне изменения нагрузки. Недостатки: габариты, малый КПД, утечки через неплотности [2].

Энергоустановка, в составе которой находится теплообменник, изображена на рис. 1.

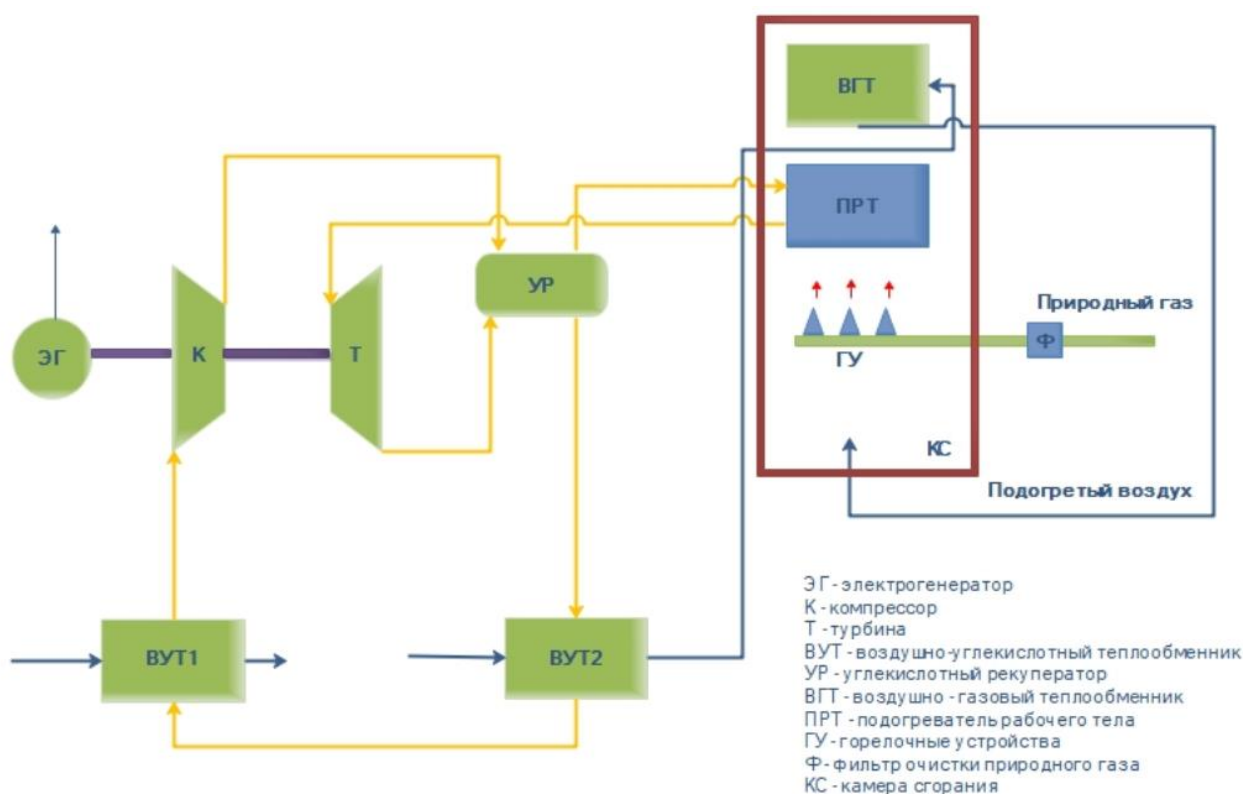


Рис. 1. Схема ЗГТУ

В данной установке реализован многоступенчатый подогрев воздуха для достижения высокой температуры горения. В подогреватель рабочего тела (ПРТ) sCO_2 поступает после углекислотного рекуператора, затем нагретый газ идет в турбину. Дымовые газы после горелок сразу поступают в высокотемпературный теплообменник. Рабочие параметры теплообменника приведены в таблице, из которой можно сделать вывод о том, что температура, как самих теплообменных трубок, так и стенки корпуса аппарата, будет очень высокой.

Рабочие параметры теплообменника

Параметры	Единица измерения	Углекислый газ	Дымовые газы
Расход	кг/с	13,69	2,96
Температура на входе	°С	476	1500
Температура на выходе	°С	650	790
Давление	МПа	0,11	0,64

Использование привычных легированных нержавеющей сталей для корпуса, к примеру, 12X18Н10Т или 08X18Н10Т недопустимо, поскольку они имеют температурный предел в 800 °С [3]. Можно использовать жаропрочные стали, такие как 20X23Н18, 15X28, 15X25Т, ХН33КВЮ [3], но они являются очень дорогими. В статье [1] рассматривается керамический теплообменник в качестве перспективного образца, который может функционировать при максимальной температуре 1300 °С и давлении 10 бар.

Для возможности ухода к более дешевым материалам была проанализирована статья [4], в которой предлагается снизить температуру стенки с помощью наружного оребрения и нанесения изоляции по тракту дымовых газов. Результаты работы приведены на рис. 2.

Из анализа данных графиков можно сделать вывод о том, что при использовании изоляции становится возможным использование обычных нержавеющей сталей.

При необходимости, толщину изоляции можно снизить для нагрева воздуха, протекающего между стенкой корпуса камеры и аппарата, до большей температуры.

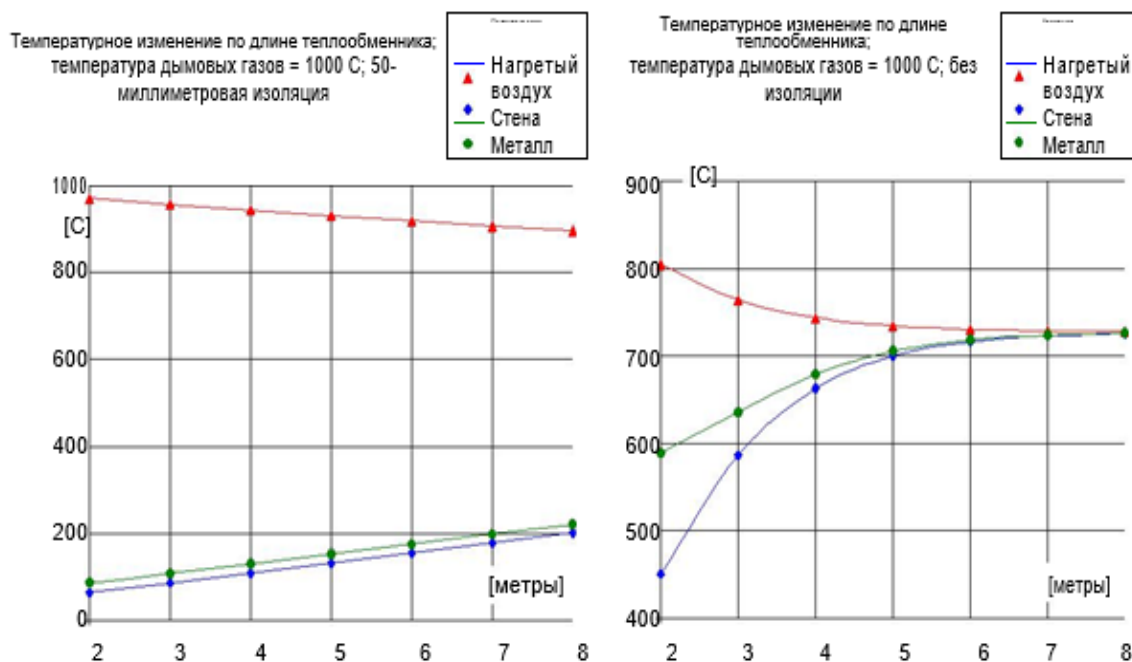


Рис. 2. Температуры корпуса с изоляцией и без изоляции

Подобный результат был получен при применении оребренных охлаждаемых плиток [5], изображенных на рис. 3 в камерах сгорания турбины ГТ-25-700.

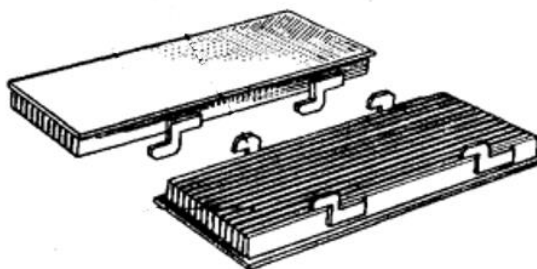


Рис. 3. Оребренная охлаждаемая плитка

В данном случае температуру стенки удалось снизить до температуры охлаждающего воздуха, а именно – до 350–450 °С.

В результате, для снижения толщины трубной доски и ухода от температурных компенсаторов, была выбрана гнутая труба в форме змеевика. Трубка диаметром 20×1 обеспечивает наименьшую удельную цену поверхности теплообмена. При этом шахматное расположение труб обеспечивает более высокий коэффициент теплоотдачи, по сравнению с коридорным. Оребрение труб нецелесообразно из-за не очень большой разницы между значениями коэффициентов теплоотдачи: 574 и 87 Вт/(м²·К).

Многоходовая схема позволяет увеличить скорость СО₂ и, как следствие, уменьшить поверхность теплообмена. В результате расчета получен коэффициент теплопередачи 74 Вт/(м²·К), поверхность теплообмена 101,6 м², габариты: ширина 1,5 м, высота 1,5 м, длина 1,4 м.

Список использованных источников

1. Olumide Olumayegun, Meihong Wang, Greg Kelsall. Closed-cycle gas turbine for power generation : A state-of-the-art review // Fuel. 2016. Vol. 180, September. P. 694–717. DOI: 10.1016/j.fuel.2016.04.074
2. Рабенко В. С. Термодинамические циклы газотурбинных установок : учебное пособие. Иваново : Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина, 2008. 124 с.
3. ГОСТ 5632-2014. Легированные нержавеющие стали и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки (с изм. № 1). Введ. 01.01.2015. М. : Стандартинформ, 2015. 48 с.
4. Nicolae Antonescu, Dan-Paul Stănescu. Wall temperature spectrum determination for high temperature heat exchangers (HTHE) with extended surfaces // Energy Procedia. 2016. Vol. 85. P. 17–25. DOI:10.1016/j.egypro.2015.12.270
5. Земзин В. Н., Френкель Л. Д. Сварные конструкции паровых и газовых турбин. Л. : Наука, 1962. 222 с