

Список использованных источников

1. Скоростная рекуперативная горелка ГСР-150 / Н.Б. Лошкарев, А.Х. Мухамадиева // Теплотехника и информатика в образовании, науке и производстве: сборник докладов IV Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Теплотехника и информатика в образовании, науке и производстве» (ТИМ'2015) с международным участием, посвящённой 95-летию основания кафедры и университета (г. Екатеринбург, 26-27 марта 2015 г.). – Екатеринбург: УрФУ, 2015. – С. 96–100.
2. Регенеративный теплообменник. СССР №1 366 791. Гордон Я.М., Швыдкий В.С., Советкин В.Л., Ярошенко Ю.Г. Оpubл. в Б.И. 1988, №2.
3. Теплотехнические расчеты металлургических печей. Зобнин Б.Ф., Казяев М.Д., Китаев Б.И., Лисиенко В.Г., Телегин А.С., Ярошенко Ю.Г. учебное пособие для студентов вузов. Изд. 2-е. – М.: Металлург, 1982. 360 с.
4. Расчеты нагревательных печей / Э.М. Гольдфарб, А.Ф. Кравцов, Радченко [и др.]; под ред. Н.Ю. Тайца. – Киев: Государственное издательство технической литературы УССР, 1958. – 420 с.

УДК 536.4;66.045.12

Ю. А. Марчкова, В. А. Микула

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ СИНТЕЗ-ГАЗА ДЛЯ ПГУ-ВГЦ

Аннотация

Проведен тепловой расчет тепловой схемы гибридной ПГУ-ВЦГ мощностью 500 МВт с помощью программы ThermoFlex. Было выполнено четыре варианта расчета конвективного газоохладителя с мембранными трубными спиралями. Найдена оптимальная конструкции конвективного газоохладителя.

Ключевые слова. ПГУ-ВГЦ, конвективный газоохладитель, газоохладитель со спиральными нагревательными поверхностями, ThermoFlex.

Abstract

Held thermal calculation of the thermal scheme of the hybrid CCGT IGCC 500 MW with the help of a program ThermoFlex. Was performed four options of calculating the convective gas cooler membrane of tubular spirals. Optimal design of convective gas cooler.

Keywords. IGCC, convective gas cooler, gas cooler with a spiral heating surfaces, ThermoFlex.

Парогазовые установки с внутрицикловой газификацией твердого топлива (ПГУ-ВЦГ) являются перспективным путем производства энергии. Для повышения эффективности ПГУ-ВЦГ используют газоохладитель (ГО), в котором горячий синтез-газ после газогенератора отдает свою теплоту воде и пару [1].

Для разработки конвективного газоохладителя для ПГУ-ВЦГ мощностью 500 МВт был произведен тепловой расчет системы охлаждения синтез-газа.

Основные исходные данные для конструктивного теплового расчета газоохладителя были приняты по результатам расчета тепловой схемы гибридной ПГУ-ВЦГ 500 МВт (выполненного в программе ThermoFlex) и приведены в таблице 1.

Основными компонентами синтез-газа являются CO, H₂, N₂, поэтому для упрощения алгоритма определения теплофизических параметров газа расчетный состав принят трехком-

понентным (CO, H₂, N₂), а процентное содержание остальных компонентов пропорционально распределено между этими тремя компонентами (табл. 2).

Таблица 1

Исходные данные для теплового расчета		
Параметры	Размерность	Величина
Секция пара высокого давления		
Температура синтез-газа на входе	°С	1100
Температура синтез-газа на выходе	°С	661
Давление синтез-газа	МПа	3,5
Массовый расход синтез-газа	кг/с	100,4
Температура пара на входе	°С	328
Температура пара на выходе	°С	334
Давление пара	МПа	13,45
Тепловая мощность	МВт	63,3
Секция пара среднего давления		
Температура синтез-газа на входе	°С	661
Температура синтез-газа на выходе	°С	350
Давление синтез-газа	МПа	3,5
Массовый расход синтез-газа	кг/с	100,4
Температура пара на входе	°С	233
Температура пара на выходе	°С	236
Давление пара	МПа	3,13
Тепловая мощность	МВт	42,2

Таблица 2

Компонент	Состав синтез-газа	
	Процентное содержание, масс. %	
	Состав на выходе газогенератора	Принятый в расчете газоохладителя
CO	32,84	35,24
CO ₂	3,061	0
CH ₄	0,1573	0
H ₂	17,3	19,7
H ₂ S	0,0737	0
O ₂	0	0
H ₂ O	3,377	0
COS	0,0045	0
N ₂	42,65	45,06
Ar	0,5307	0

В качестве аналога выбран конвективный газоохладитель с мембранными трубными спиралями (рис. 1), для него рекомендуемые параметры: длина одного блока охлаждения (по ходу газа) – 10 м; длина блока смешения (располагающихся между блоками охлаждения) – 4 м; скорость синтез-газа в кольцевых каналах блоков охлаждения около 8 м/с [2, 3]. При расчетах оставались неизменными следующие характеристики поверхностей нагрева: внутренний/наружный диаметр труб спиралей – 56/66 мм; диаметр витков внутренней спирали (с минимальным диаметром витков) – 0,55 м; относительный шаг между витками спиралей $s_2/d=2$; расстояние от оси труб внешней спирали (с максимальным диаметром витков) до корпуса $0,5 \cdot s_2$.

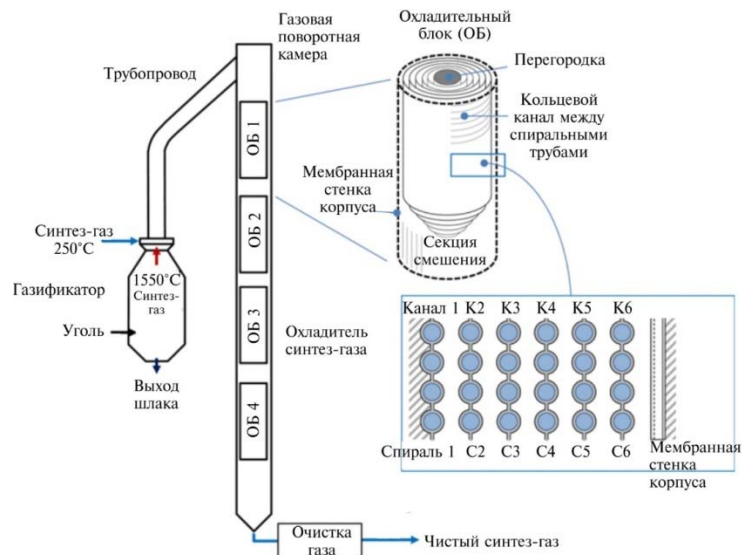


Рис. 1. Паротрубный газоохладитель со спиралевидными трубами для ПГУ-ВЦГ 300 МВт

Для расчета коэффициента теплоотдачи со стороны синтез-газа использована следующая зависимость:

$$Nu = 0,027Re^{0,8}Pr^{0,33} \left(\frac{\mu_i}{\mu_w} \right)^{0,14}, \quad (1)$$

Nu – число Нуссельта на газовой стороне;

Pr – число Прандтля на газовой стороне;

Re – число Рейнольдса на газовой стороне;

μ_i – динамическая вязкость газа при температуре вдали от стенки, Па·с;

μ_w – динамическая вязкость газа при температуре стенки, Па·с.

Было выполнено четыре варианта расчета газоохладителя, результаты представлены в табл. 8.7. Для исходного варианта приняты параметры, как у аналога (ПГУ-ВЦГ 300 МВт [2, 3]): относительный шаг между спиралями $s1/d = 2$ (одинаковый для всех вариантов); компоновка секций высокого и среднего давлений – вертикальная (сверху вниз). В результате в исходном варианте высота газоохладителя составила 166 м, при диаметре секции ВД – 2 м, а СД – 1,9 м. Количество спиралей в охладительных блоках ВД – шесть, для сохранения в блоках СД примерно той же скорости синтез-газа количество спиралей принято – пять.

Для снижения высоты газоохладителя исходный вариант был подвергнут модернизации (вариант 1) с уменьшением относительного шага между спиралями до $s1/d = 1,6$ (такая возможность предусматривается [4]). В этом случае для соблюдения рекомендуемого уровня скоростей (~8 м/с) количество спиралей в блоках увеличилось (в ВД – до девяти, в СД – до семи). При такой модернизации высота газоохладителя уменьшается до 84 м.

В варианте 2 была принята компоновка секций по конструкции «двойной корпус» (рис. 2), поверхности нагрева секции высокого давления располагаются во внутреннем корпусе, а поверхности нагрева секции среднего давления между наружным и внутренним корпусом. В секции высокого давления поток синтез-газа движется сверху вниз, затем в нижней части поворачивает и движется по секции среднего давления вверх. В результате диаметр витков спиралей секции СД стал больше и количество спиралей снизилось до трех, а высота газоохладителя снизилась до 56 м, при диаметре секции ВД – 2,5 м, а СД – 3,1 м, но высота секций ВД и СД отличается на 20 м.

В варианте 3 для уменьшения высоты секции среднего давления был расширен диаметр наружного корпуса и увеличено количество спиралей. Это уменьшило скорость течения синтез-газа в кольцевых зазорах поверхностей нагрева до 5,4 м/с. При диаметре секции ВД 2,5 м, а СД – 3,3 м высота газоохладителя уменьшается до 40 м. С учетом последнего для гибридной ПГУ-ВЦГ рекомендована конфигурация газоохладителя по варианту 3.

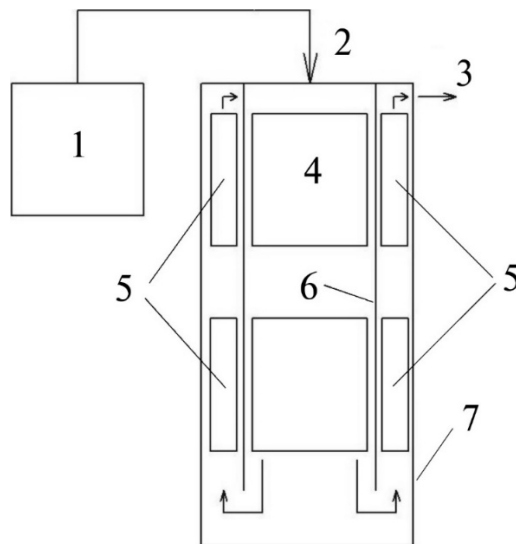


Рис. 2. Компоновка газоохладителя по схеме «двойной корпус»: 1 – газогенератор; 2, 3 – потоки синтез-газа на входе и выходе; 4 – охладительные блоки ВД; 5 – охладительные блоки СД; 6 – внутренний корпус секции ВД; 7 – наружный корпус

Исследование выполнено в Уральском федеральном университете за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-19-00524).

Список использованных источников

1. Гибридные ПГУ на твердом топливе / Т.Ф. Богатова, А.Ф. Рыжков, Н.В. Вальцев, П.В. Осипов, С.И. Гордеев // Энергетик. 2014. №12. С. 12–16.
2. Modeling and analysis of a syngas cooler with concentric evaporator channels in a coal gasification process / J. Oh, In-S. Ye, S. Park, C. Ryu, S. Ku Park // Korean J. Chem. Eng.– 2014. – №31(12). – P. 2136–2144.
3. Gas and particleflow characteristics in the gas reversing chamber of a syngas cooler for a 300 MWe IGCC process/ P. Sangbin, Y. In-Soo, O. Junho, R. Changkook, K. Ja Hyung // Applied Thermal Engineering. – 2014. – №70. – P. 388–396.
4. Convective heat transfer characteristics of high-pressure gas in heat exchanger with membrane helical coils and membrane serpentine tubes / Z. Yang, Z. Zhao, Y. Liu, Y. Chang, Z. Cao // Experimental Thermal and Fluid Science. – 2011. – №35. – P. 1427–1434.

УДК 536.4;66.045.12

Е. И. Мешков, Н. П. Герасименко

ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)», г. Владикавказ, Республика Северная Осетия – Алания

УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА

Аннотация

В докладе приведена лабораторная установка, разработанная на кафедре теории и автоматизации металлургических процессов и печей ФГБОУ ВО СКГМИ (ГТУ) и описан принцип её работы. Данная установка даёт возможность получить значительное количество теплофизических параметров, необходимых для исследования и моделирования процес-