

Список использованных источников

1. Лисиенко В.Г. Сравнительный эколого-парниковый анализ альтернативных бескоксовых процессов производства чугуна и стали / В.Г. Лисиенко, Ю.Н. Чесноков, А.В. Лаптева // *Металлург*. 2011. № 7. С. 40–45.
2. Воскобойников, В. Г. Общая металлургия: учеб. для вузов / В.Г. Воскобойников, В.А. Кудрин, А.М. Якушев. – М.: Металлургия, 1998. – 768 с.
3. Процессы и аппараты цветной металлургии: учебник / С.С. Набойченко, Н.Г. Агеев, С.В. Карелов [и др.]; под общей ред. С.С. Набойченко. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2013. – 564 с.
4. Тарасов А.В. Общая металлургия / А.В. Тарасов, Н.И. Уткин. – М.: Металлургия, 1997. – 592 с.
5. Кистяковский Б.Б. Производство цветных металлов / Б.Б. Кистяковский, Н.В. Гудима. – М. : Металлургия, 1978. – 344 с.
6. Эффективное оборудование для получения каустической соды, выпаривания щелочи, охлаждения упаренного раствора и вывода сульфатов. Код доступа https://mashprom.ru/press/publication/aview_b22/
7. Справочник химика: Т.5 / Под ред. Б.П. Никольского, В.А. Рабиновича. – М. – Л.: Химия, 1966. – 973 с.
8. Вавилов А.А. Машинные методы расчета систем управления: учеб. пособие / А.А. Вавилов, Д.Х. Имаев. – Л.: Изд-во Ленингр. Ун-та, 1981. – 232 с.
9. Чесноков Ю.Н. Разработка графов эмиссии диоксида углерода металлургическими предприятиями / Ю.Н. Чесноков, В.Г. Лисиенко, А.В. Лаптева // *Металлург*. 2012. № 12. С. 23–26.

УДК 620.178.16;66.045.12

А. К. Матюхина, Г. Е. Маслеников, А. Ф. Рыжков, И. П. Лазебный

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

РАСЧЕТ ТЕПЛОВОЙ СХЕМЫ ПГУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТКРЫТОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Аннотация. В данной работе проводится расчет тепловой схемы ПГУ с помощью программного пакета «DWSIM». Основной целью является получение расчетной модели ПГУ для дальнейшего расчета карбонизации золы.

Ключевые слова: CO₂; ПГУ; котёл-утилизатор; DWSIM.

Abstract. In this paper, the calculation of the thermal scheme of the CCGT is carried out using the software package "DWSIM". The main goal is to obtain a design model of the CCGT for further calculation of ash carbonation.

Key words: CO₂; CCGT; heat recovery boiler; DWSIM.

Проблемы ужесточения норм выбросов вредных веществ и обязательств по сокращению эмиссии парниковых газов требуют разработки экологически и экономически состоятельных технологий улавливания CO_2 и его последующей утилизации. В работе Dindi [1] представлен метод решения данной проблемы, который называется Carbon Capture and Storage (CCS) – улавливание и хранение углерода. Метод CCS включает в себя выделение CO_2 из дымовых газов промышленных и энергетических источников, его транспортировку к месту хранения и долгосрочную изоляцию от атмосферы. Более перспективным методом является минерализация CO_2 путем карбонизации материалов с повышенным содержанием основных оксидов: горные породы, золошлаковые отходы (ЗШО), отходы строительной индустрии и др.

В данной работе производится расчет тепловой схемы ПГУ для дальнейшего расчёта узла улавливания CO_2 из дымовых газов при помощи золы ТБО и цементных материалов. Для расчета используется открытое программное обеспечение «DWSIM». Для определения термодинамических свойств потока воды/пара используется пакет свойств, основанный на формуляции IAPWS-IF97. Газовые потоки (воздух, топливо, продукты сгорания) рассматриваются как реальные газы, и их энтальпия, энтропия и теплоемкости рассчитываются с использованием уравнений состояния реального газа Peng–Robinson [2].

За прототип расчетной схемы взята тепловая схема энергоблока ПГУ-230 ТЭЦ «Академической». ПГУ состоит из одной ГТУ типа GT13E2 с номинальной электрической мощностью (по условиям ISO) 166,6 МВт и КПД 36,5 %, парового котла-утилизатора ПК-86, одной паровой турбины типа КТ-63-7,0. Первые три ступени ГТУ имеют воздушное охлаждение. Подробные данные по этой системе закрыты производителем, поэтому приближенные расходы были взяты по работе Paolo Chiesa and Ennio Macchi [3]. Так 7 % от расхода воздуха на входе в компрессор идет на охлаждение турбины, из этого количества 72,4 % приходится на охлаждение 1 ступени (подается в элемент камеры сгорания), 19,7 % и 7,9 % – на 2 и 3 ступени соответственно. Котел-утилизатор двухконтурный с установкой подогрева воды для нужд ГВС на линии рециркуляции ГПК. Деаэратор питается паром из барабана НД. Расчёт выполняется при номинальном режиме работы оборудования ПГУ. Исходные данные для расчета ПГУ представлены в таблице 1.

Упрощённый вид построенной схемы показан на рис. 1, где ТК – топливный компрессор; ВК – воздушный компрессор; КС – камера сгорания; ГТ – газовая турбина; ППВД, ППНД – пароперегреватели высокого и низкого давления; ИВД, ИНД – испарительные поверхности высокого и низкого давления; ЭВД-1, ЭВД-2, ЭНД – экономайзеры высокого и низкого давления; ГПК – газовый подогреватель конденсата; Д – деаэратор питательной воды; ЦВД, ЦНД – цилиндры высокого и низкого давления паровой турбины; К-р – конденсатор; КЭН – конденсатный насос; ПЭНВД, ПЭННД – питательные насосы высокого и низкого давления.

Таблица 1

Исходные данные для расчета ПГУ

Параметр	Размерность	Значение
Температура наружного воздуха	°С	15
Давление наружного воздуха	бар	1,013
Влажность наружного воздуха	%	60
Состав топлива	%	
CH ₄		97,69
C ₂ H ₆		0,82
C ₃ H ₈		0,33
N ₂		1,16
Степень сжатия воздушного компрессора		16,9
Степень сжатия топливного компрессора		3,9
Изоэнтروпийный КПД компрессоров	%	92,0
Изоэнтропийный КПД турбины	%	84,0
Температура на входе в турбину	°С	1095
Расход газов за ГТУ	кг/с	547,6
Потери теплоты в КС	% от LHV топлива	0,9
Гидравлические потери КС	%	3
Механический КПД турбины/компрессоров	%	99,8
КПД электрогенератора	%	98,7
Давление в деаэраторе	бар	7,5
Температура свежего пара (ВД/НД)	°С	483,6/276,7
Давление пара на выходе (ВД/НД)	бар	79,8/11,9
Температура конденсата перед ГПК	°С	60
Тепловая мощность ВВТО	Гкал/ч	22,9
Потери давления в газовом тракте КУ	кПа	3
Тепловые потери от наружного охлаждения КУ	%	0,7
Пинч ВД/НД	°С	10
Недогрев конденсата до температуры насыщения в деаэраторе	°С	7
Недогрев питательной воды до температуры насыщения в барабане	°С	5
Гидравлическое сопротивление ППВД/ППНД	%	5
Гидравлические потери в паропроводах свежего пара	%	8,5
Гидравлические потери в стопорных клапанах	%	3
Изоэнтропийный КПД ЧВД/ЧНД	%	83,0/78,0
Изоэнтропийный КПД насосов	%	75
Механический КПД турбины/компрессоров	%	99,5
КПД электрогенератора	%	98,7
Давление в конденсаторе	кПа	5

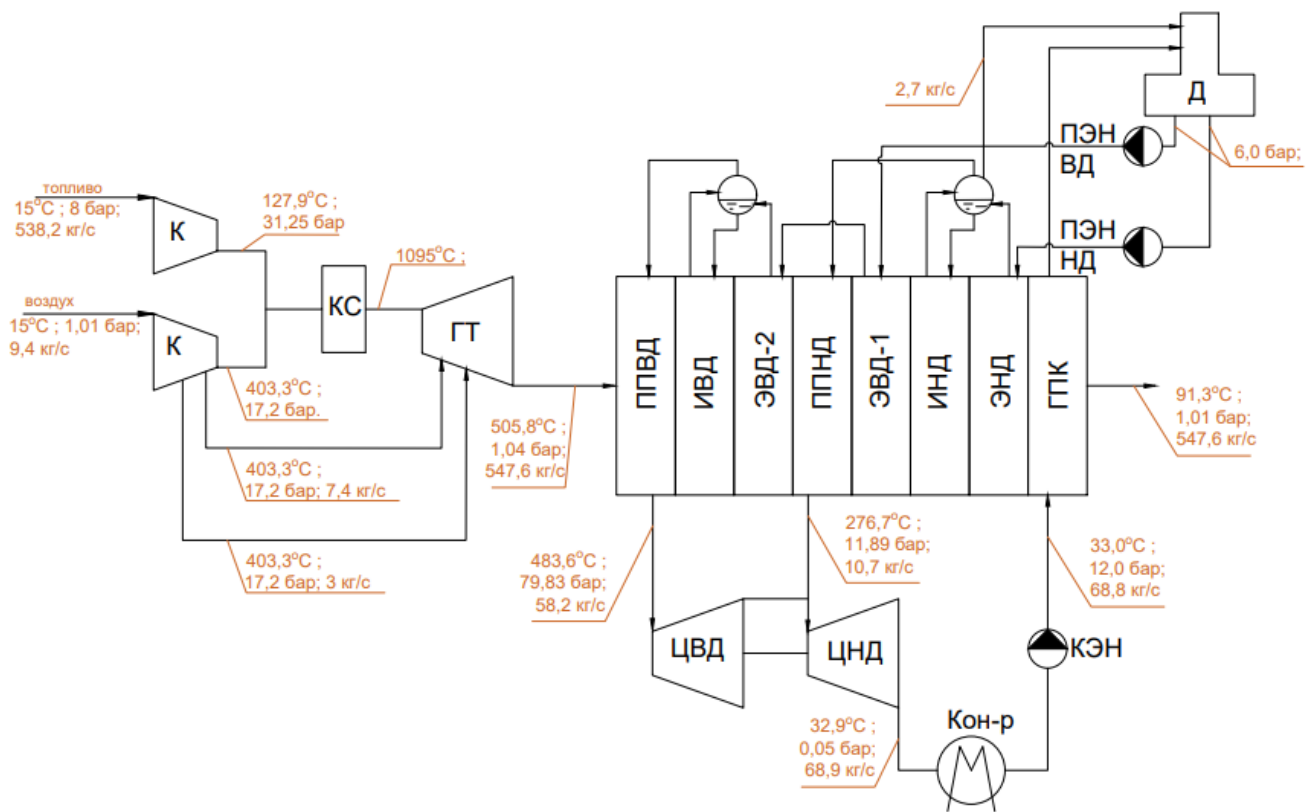


Рис. 1. Вид расчетной схемы ПГУ

Полученные расчетные данные сравниваем с верификационными данными по работе энергоблока ПГУ ТЭЦ «Академической» в таблице 2.

Анализируя данные табл. 2, получаем, что относительные отклонения расчетных значений от верифицируемых составляют менее 4 %.

Таблица 2

Показатели работы энергоблока ПГУ 230

Параметр	Размерность	Расчетное значение	Значение для верификации	Относительное отклонение, %
Температура газов за ГТУ (перед КУ)		505.8	507.8	0.39
Состав продуктов сгорания	%			
N ₂		75	75	0.00
O ₂		14.15	14.06	0.64
H ₂ O		6.93	6.98	0.72
CO ₂		3.02	3.07	1.63
Ar		0.89	0.89	0.00
Паропроизводительность ВД	кг/с	58.22	59.64	2.38
Паропроизводительность НД	кг/с	13,4	13.06	2,60
Температура уходящих газов за КУ	°C	91.3	91.9	0.65
Мощность ПТ брутто	МВт	67.51	65	3.86
Мощность ГТУ брутто (по условиям ISO)	МВт	163.87	166.6	1.64

Параметр	Размерность	Расчетное значение	Значение для верификации	Относительное отклонение, %
Электрическая мощность топливного компрессора	МВт	-2.39	—	—
Электрическая мощность насосов	МВт	-0.97	—	—
Электрическая мощность ПГУ (брутто)	МВт	231.38	—	—
Электрическая мощность ПГУ (нетто)	МВт	228.01	—	—
Подведенная теплота	МВт	455.87	—	—
КПД ГТУ (брутто)	МВт	35.95	—	—
КПД КУ	МВт	72.63	—	—
КПД ПТ (брутто)	МВт	27.2	—	—
КПД ПГУ (брутто)	МВт	50.76	—	—
КПД ПГУ (нетто)	МВт	50.02	—	—

Таким образом, в данной работе получена расчетная модель тепловой схемы ПГУ-230. В дальнейшем параметры газа за КУ будут использоваться в расчете карбонизации золы ТБО.

Список использованных источников

1. Dindi A., Quanga D.V., Vegab L.F., Nashefa E., Abu-Zahraa M.R.M. Applications of fly ash for CO₂ capture, utilization, and storage, Journal of CO₂ Utilization. 29 (2019) 82-102.
2. Peng D.Y., Robinson D.B. (1976). A new two-constant equation of state. Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals, 15, 59–64, 1976/02/01.
3. Paolo Chiesa and Ennio Macchi (2002). A thermodynamic analysis of different options to break 60 % electric efficiency in Combined Cycle Power Plants. Proceedings of ASME TURBO EXPO 2002 June 3-6, 2002, Amsterdam, The Netherlands.

УДК 621.783.223.5

М. А. Путилов, В. И. Матюхин

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

ОБЗОР ПРОЕКТА ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ ПЕРЕВООРУЖЕНИЮ ПЕЧИ НАГРЕВА РЕЛЬСОВ ПЕРЕД ЗАКАЛКОЙ

Аннотация. Железнодорожным рельсам необходима термическая обработка для получения требуемых при эксплуатации механических свойств. В качестве термической обработки применяется закалка. Для нагрева рельсов перед закалкой используются проходные роликовые печи. Многие из существующих агрегатов эксплуатируются в течение десятилетий. Для повышения эффективности и надежности требуется производить