

СПОСОБЫ ПОДГОТОВКИ ГАЗОВОГО ТОПЛИВА В ПГУ-ВЦГ

Филиппов П.С., Абанмов Н.А., Гордеев С.И.

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

Одним из способов подавления образования термических NO_x в камере сгорания (КС) газовой турбины (ГТ) является обеднение газового топлива или окислителя путем разбавления азотом и паром. В данной статье рассмотрены четыре различные схемы подготовки газового топлива в парогазовых установках с внутритрицикловой газификацией (ПГУ-ВЦГ) Puertollano (Испания), Buggenum (Нидерланды), Tampa Polk (США), Wabash River (США). Синтез-газ на этих ПГУ-ВЦГ получают в результате кислородной газификации угля, нефтекокса или их смеси. Разбавление синтез-газа может выполняться как перед подачей синтез-газа в КС ГТ, так и непосредственно в самой КС. В первом случае для сжигания разбавленного синтез-газа используют выносные КС с небольшим изменением конструкций горелок или используют трубчато-кольцевые КС с модифицированной конструкцией горелок и жаровой трубы для сжигания низкокалорийных газовых топлив.

Ключевые слова: синтез-газ, ПГУ-ВЦГ, камера сгорания, низкокалорийное газовое топливо, разбавление азотом и паром.

One of ways to reduce the formation of thermal NO_x in the combustion chamber (CC) of the gas turbine (GT) is depletion of gas fuel or oxidizer by means of dilution by nitrogen and steam. In this paper 4 various schemes of preparation of gas fuel in IGCCs Puertollano (Spain), Buggenum (Netherlands), Tampa Polk (USA), Wabash River (USA) are considered. Syngas on these IGCC is received as a result of oxygen-blown gasification of coal, petrococoke or their mix. Dilution of syngas can will be executed both before syngas feed in CC of GT and directly in CC. In the first case, for the combustion of diluted syngas used silo type CC with little change of burner designs or used tubular-ring CC with the modified of burner and flame tube designs for combustion of low-calorie gas fuels.

Keywords: syngas, IGCC, combustion chamber, low-calorie gas, dilution by nitrogen and steam.

В настоящее время, по всему миру ведутся интенсивные научные исследования и проектно-конструкторские работы в направлении развития высокоэффективных теплоэнергетических установок на твердом топливе, безопасных для окружающей среды и климата [1].

Теплота сгорания синтез-газов (СГ), полученных путем газификации твердого топлива или других горючих органических материалов, меняется в широком диапазоне (4,2–12,7 МДж/м³) [2]. При сжигании СГ, полученного в результате кислородной газификации, возникает угроза из-за высокой теоретической температуры горения, загрязнения окружающей среды оксидами азота (NO_x). Поэтому на некоторых ПГУ-ВЦГ (в таких как Puertollano, Buggenum, Tampa Polk, Wabash River и т.д.) предусмотрено разбавление СГ азотом или паром. Разбавление высоко- или среднекалорийных синтез-газов

не только способствует к снижению образования оксидов азота в камере КС, но также способствует [3]

- увеличению мощности ГТУ, посредством увеличения массового расхода продуктов сгорания через газовую турбину;
- увеличению КПД брутто станции;
- подавлению образования термических NO_x в КС ГТ за счет снижения теплоты сгорания разбавленного синтез газа;
- повышению мощности паротурбинной части благодаря повышению массовых расходов через котел-утилизатор.

В состав ПГУ-ВЦГ Puertollano входит кислородный газификатор Prenflo и ГТУ Siemens V94.3 с двумя выносными камерами сгорания (рис. 1, а) [4]. В результате высокотемпературной поточной газификации под давлением смеси угля и нефтекокса с теплотой сгорания 22,55 МДж/кг образуется СГ (теплота сгорания чистого СГ – 10,029 МДж/нм³). Состав СГ после очистки приведен в таблице. После очистки СГ насыщают водяным паром в установке увлажнения (УУ) газа, а затем смешивают с остаточным азотом из воздухоразделительной установки (ВРУ) в специальном смесителе.

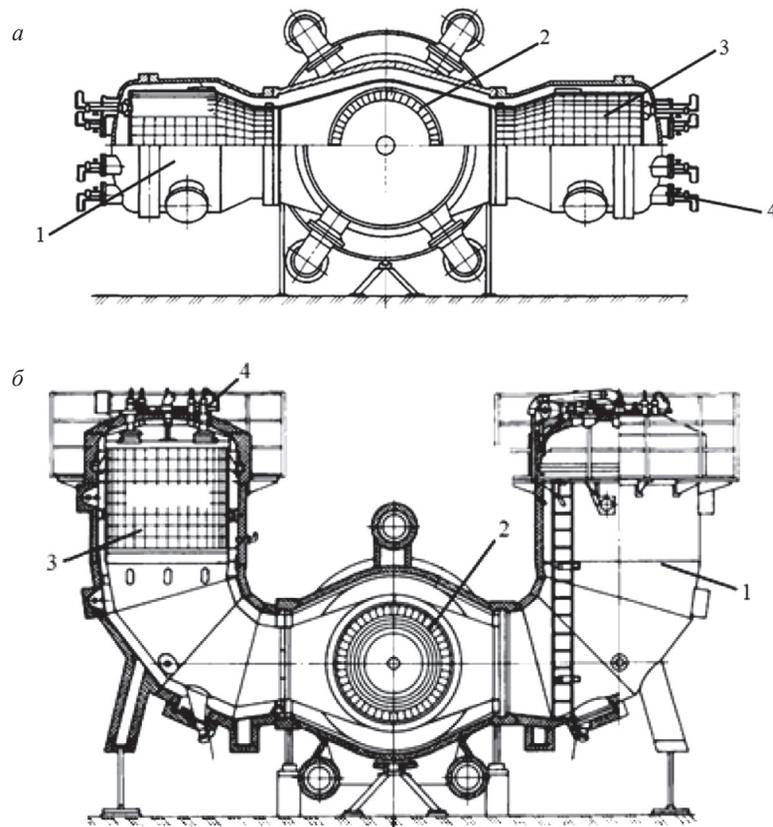


Рис. 1. Поперечный разрез ГТУ:

а – Siemens V94.3; б – Siemens V94.2.

1 – выносная камера сгорания; 2 – лопатка компрессора; 3 – пламенная труба; 4 – горелка

Сравнительные характеристики синтез-газов различных ПГУ-ВЦГ

Параметр	Название ПГУ-ВЦГ			
	Puertollano	Buggenum	Tampa Electric	Wabash River
Газификатор	Prenflo	Shell	Texaco	Destec
Газовая турбина	Siemens V94.3	Siemens V94.2	GE 7FA	GE 7FA
Топливо	Уголь от Epcasur, Нефтекокс от Repsol YPF	Битуминозный уголь от Drayton Coal Mine	Dotiki Mine	Залежь № 6 на Hawthorn Mine
НТС до разбавления	10,029 МДж/нм ³	11,12 МДж/нм ³	9,672 МДж/нм ³	10,314 МДж/нм ³
НТС после разбавления	4,357 МДж/нм ³	4,465 МДж/нм ³	Нет данных	Нет данных
Состав синтез-газа до разбавления (об. %)				
H ₂	22,08	28,6	37,95	34,4
CO	60,51	63,5	44,06	45,3
N ₂	12,46	6,3	2,38	1,9
Ar	1,03	–	0,88	0,6
CO ₂	3,87	1,6	14,73	15,8
CH ₄	–	–	–	1,9
Состав синтез-газа после разбавления (об. %)				
H ₂	10,67	12,3	Нет данных	Нет данных
CO	29,24	24,8	Нет данных	Нет данных
H ₂ O	4,18	19,1	Нет данных	Нет данных
N ₂	53,08	42	Нет данных	Нет данных
Ar	0,62	0,6	Нет данных	Нет данных
CO ₂	1,89	0,8	Нет данных	Нет данных
CH ₄	0,07	0	Нет данных	Нет данных
O ₂	0,25	0,4	Нет данных	Нет данных

До разбавления газового топлива, азот предварительно нагревают воздухом из компрессора ГТУ в теплообменном аппарате. Схема подготовки газового топлива, сжигаемого в КС ГТ, изображена на рис. 2. Состав и низшая теплота сгорания (НТС) разбавленного СГ приведены в таблице.

На ПГУ-ВЦГ Buggenum, в состав которого входит кислородный газификатор Shell, СГ смешивают с азотом перед установкой увлажнителя [5]. В отличие от ПГУ-ВЦГ Puertollano нагревают уже разбавленный азотом и паром СГ (рис. 3). После нагрева паром из котла-утилизатора разбавленный СГ подается в КС ГТ. Состав и НТС разбавленного СГ и тип ГТ приведены в таблице. Конструкция КС изображена на рис. 1, б.

На ПГУ-ВЦГ Tampa Polk в отличие от ПГУ-ВЦГ Puertollano и ПГУ-ВЦГ Buggenum азот смешивают с воздухом непосредственно в самой КС ГТ, а не с СГ (рис. 4) [5]. Состав и НТС СГ, а также тип газификатора и ГТ приведены в таблице.

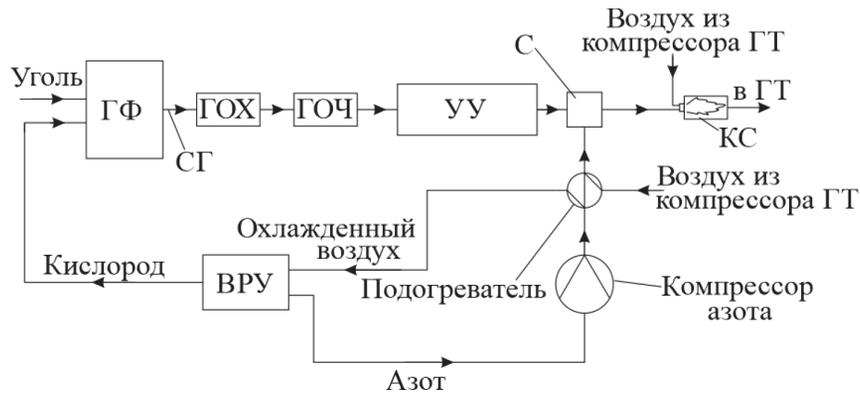


Рис. 2. Схема подготовки газового топлива на ПГУ-ВЦГ Puertollano:
 СГ – синтез-газ; ГФ – газификатор; ГОХ – газоохладительная часть; ГОЧ – газоочистительная часть;
 УУ – установка увлажнения; С – смеситель; ГТ – газовая турбина

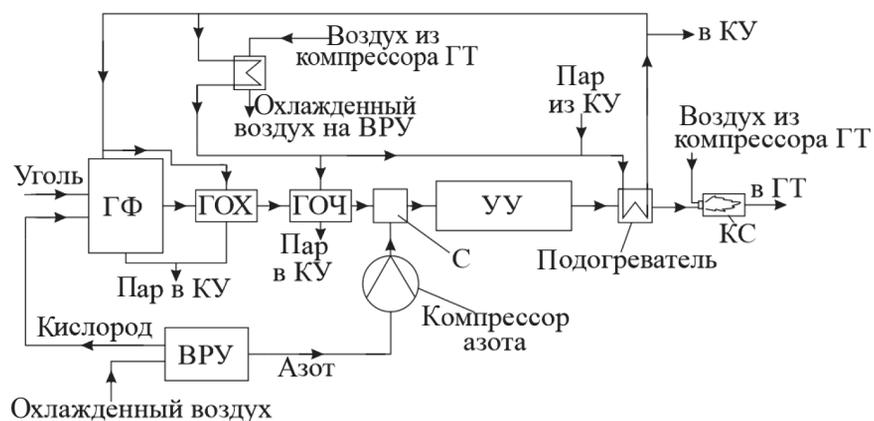


Рис. 3. Схема подготовки газового топлива на ПГУ-ВЦГ Buggenum.
 КУ – котел-утилизатор

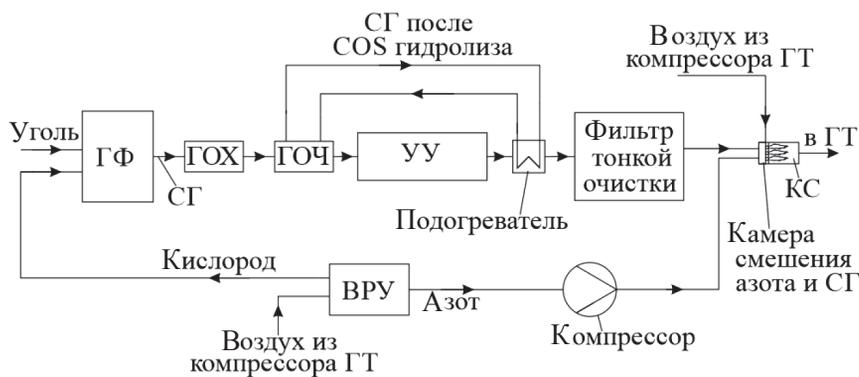


Рис. 4. Схема подготовки газового топлива на ПГУ-ВЦГ Tampa Polk

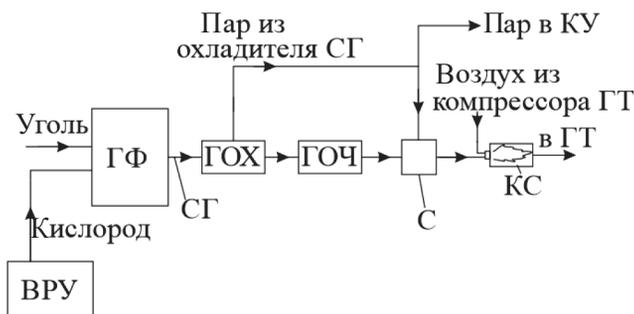


Рис. 5. Схема подготовки газового топлива на ПГУ-ВЦГ Wabash River

В отличие от указанных схем на ПГУ-ВЦГ Wabash River разбавление СГ осуществляется только паром без азота [5]. Пар на разбавление берут из охладителя неочищенного СГ. Далее этот пар направляется на специальный смеситель, где разбавляет и одновременно подогревает чистый СГ (рис. 5).

Таким образом, видно, что в рассмотренных схемах для подавления образования термических NO_x разбавление СГ азотом или паром осуществляется по-разному. При разбавлении СГ перед подачей в КС ГТ уменьшается количество впрыскиваемого пара или азота внутри КС, что упрощает конструкцию горелок КС и жаровой трубы. Но в схеме появляется дополнительный смеситель. Организовать разбавление СГ или воздуха азотом или паром непосредственно в самой КС осложнено тем, что усложняется конструкция горелок КС, а также усложняется конструкция самой КС, т.е. появляется камера предварительного смешения, но в схеме нет дополнительного смесителя.

Следовательно, организовать разбавление СГ азотом или паром перед подачей газового топлива в КС ГТ более целесообразно с точки зрения выбора конструкции КС, потому что в данном случае можно использовать уже существующие КС для сжигания низкокалорийного СГ, слегка изменив конструкцию горелок, а не всю конструкцию КС.

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

Список использованных источников

1. Прогноз научно-технологического развития России: 2030 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.hse.ru/data/2014/07/15/1312464763/Energy.pdf> (дата обращения: 28.10.14).
2. Hasegawa T. Developments of gas turbine combustors for air-blown and oxygen-blown IGCC [Электронный ресурс]. URL: http://cdn.intechopen.com/pdfs/22903/InTech-Developments_of_gas_turbine_combustors_for_air_blown_and_oxygen_blown_igcc.pdf (дата обращения 01.02.2015)
3. Кудинов А.А., Горланов С.П. Влияние впрыска водяного пара в камеру сгорания газотурбинной установки на эффективность работы котла-утилизатора. – МЭИ, 2015.
4. M. T. Coca. Integrated gasification combined cycle technology: IGCC. Its actual application in Spain: Elcogas. Puertollano. – Club Español de la Energía.
5. Leśniak A., Bieniecki M. Energy production in selected integrated gas-steam IGCC systems powered by gas from coal gasification processes [Электронный ресурс]. URL: <http://www.chemikinternational.com/wp-content/uploads/2014/12/4.pdf> (дата обращения: 18.01.15).