

Полученная математическая модель позволяет получать адекватные данные о процессах, происходящих в скруббере, находить оптимальный режим работы, рассматривать работу скруббера при различном сочетании работающих форсунок. Предложенный способ расчета можно использовать на начальном этапе проектирования.

Список использованных источников

1. Старк С. Б. Газоочистные аппараты и установки в металлургическом производстве: учебник для вузов / С. Б. Старк. Изд. 2-е, перераб. и доп. М. : Металлургия, 1990. С. 94.
2. Головачевский Ю. А. Оросители и форсунки скрубберов химической промышленности / Ю. А. Головачевский. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Машиностроение, 1974. 270 с.
3. Швыдкий В. С., Ладыгичев М. Г. Очистка газов: справочное издание / В. С. Швыдкий, М. Г. Ладыгичев. М. : Теплоэнергетик, 2002. С. 370.

УДК 662.76

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПГУ С ВНУТРИЦИКЛОВОЙ ГАЗИФИКАЦИЕЙ

PERSPECTIVE IGCC

Ердяков Д. В., Богатова Т. Ф.

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, tes@mail.ru

Erdyakov D. V., Bogatova T. F.
Ural Federal University, Ekaterinburg

Аннотация: Рассмотрены преимущества транспортных реакторов (*TRIG*) и перспективы их применения для производства энергии. Приведены данные по коммерческому проекту *Kemper IGCC*. Рассмотрен перспективный проект ПГУ-ВЦГ мощностью 850 МВт для бурых углей Китая, показана его высокая эффективность по сравнению с традиционными паротурбинными блоками сверхкритических и ультрасверхкритических параметров.

Abstract: Advantages of transport-integrated gasifiers (*TRIG*) and their application prospect to energy production are considered. Data on the commercial *Kemper IGCC* project are presented. The *IGCC* perspective project with a power of 850 MW for China lignite is considered, its high efficiency in comparison with traditional steam-turbine blocks of supercritical and ultrasupercritical parameters is demonstrated.

Ключевые слова: ПГУ с внутрицикловой газификацией; транспортный реактор; низкосортный уголь.

Key words: IGCC; transport-integrated gasifier; low-grade coal.

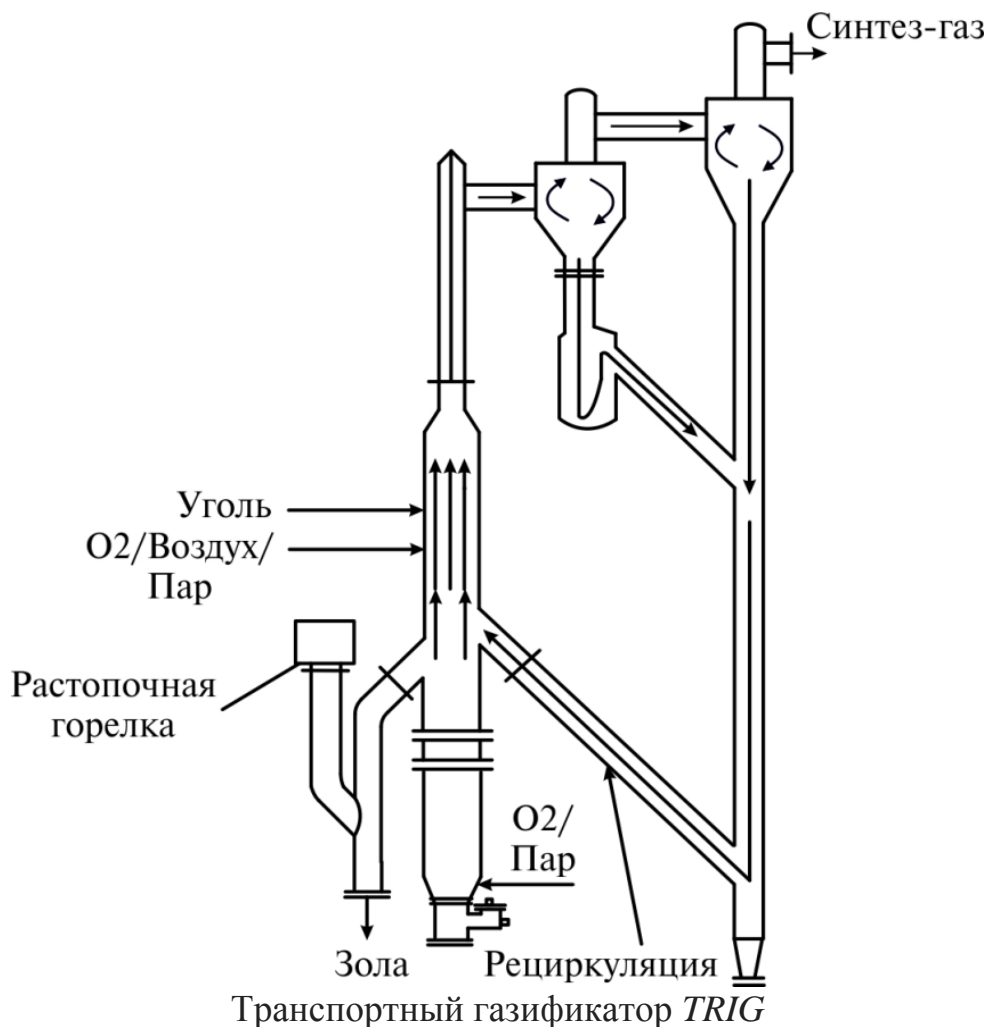
Развитие газификаторов с кипящим слоем, достаточно хорошо отработанных в XX в., привело к созданию реакторов 3 поколения, работающих в пневмотранспортном режиме, так называемых транспортных реакторов (*TRIG*). Транспортный реактор является результатом развития циркулирующего кипящего слоя (ЦКС). Скорости газа, которые в ЦКС находятся в диапазоне 6-12 м/с, увеличиваются в транспортном реакторе до 12-18 м/с. На этих более высоких скоростях частицы размером 0,5-5,0 мм уносятся с газом, и достигается режим полного пневматического транспорта. Интенсивная рециркуляция твердых частиц обеспечивает хорошее перемешивание смеси газ-твердые частицы, более высокую плотность массива твердых частиц в вертикальной секции, улучшает условия для реагирования газа и твердых частиц. Такие газификаторы, обладая, как и все установки кипящего слоя, более низкой температурой реагирования, могут превысить по эффективности поточные. Кислород и пар, вводимые в нижнюю часть, перемешиваются с твердыми частицами в зоне смешения – нижней секции вертикального реактора большего диаметра, и повышают температуру до 950-1050 °С за счет сжигания рециркулируемого кокса (рисунок). Уголь и сорбент подаются в поток горячих продуктов сгорания в верхней части зоны смешения и поступают в вертикальную секцию, где уголь теряет летучие и газифицируется, а сера улавливается в виде сульфида кальция. Более крупные частицы сепарируются из потока газа под действием силы тяжести, а более мелкие частицы – под действием центробежных сил в циклоне. Твердые частицы затем возвращаются в зону смешения, мелкие частицы, не уловленные в циклоне, охлаждаются в теплообменнике до температуры 320-420 °С и удаляются из газа в группах металлических фильтрующих элементов, называемых устройством контроля частиц (*particulate control device – PCD*).

Преимуществами газификатора *TRIG* являются:

- гибкость по топливу (высокоэффективен при работе на низкосортных высоковлажных и высокозольных углях);
- гибкость по окислителю – может работать как на кислородном, так и на воздушном дутье;
- самая высокая производительность – до 5000 т/сут угля;
- низкое потребление энергии;
- запатентованный огнеупорный материал с низкой стоимостью и сроком службы более 10 лет;
- минимальные выбросы NO_x , SO_x и твердых частиц;
- снижение эксплуатационных расходов благодаря пониженному уровню температур;

– низкое потребление воды.

Проект с газификатором *TRIG* реализован на *Kemper IGCC* (США, 2016 г.), где установлены 2 реактора производительностью каждый 4650 т/сут угля ($A^r = 40-50\%$, $Q^r_i = 9,6-12,1$ МДж/кг), 2 ГТ *Siemens SGT6-5000F*, ПТ *Toshiba* [1]. Мощность брутто/нетто 582/550 МВт. КПД в тестовом режиме 41,1%, планируется выше 43% без улавливания CO_2 32,1% с улавливанием CO_2 (при $W^r > 40\%$).



Разработан проект для ПГУ с внутрицикловой газификацией (ПГУ-ВЦГ) в Китае с газификаторами *TRIG* на низкосортном буром угле Внутренней Монголии ($W^r = 34,1\%$, $A^r = 11,2\%$, $Q^r_i = 14,34$ МДж/кг) мощностью брутто/нетто 1000/850 МВт [2]. В состав ПГУ-ВЦГ входят 2 газификатора производительностью 4835 т/сут угля каждый, 2 газовые турбины GE F9 ($N_{ГТ} = 295$ МВт), паровая турбина. Для повышения экономичности ПГУ-ВЦГ предложены следующие технические решения по интеграционным связям:

- интеграция (частичная) ВРУ и ГТ (40% необходимого воздуха отбирается на ВРУ из компрессора ГТ);
- получаемый в процессе охлаждения с 950 до 320°C синтез-газа после газификатора пар высокого давления поступает в паровую турбину;
- пар низкого давления из паровой турбины подается на сушку угля.

Сравнение показателей различных типов ТЭС, приведенных в табл. 1,

показывают, что при работе на бурых углях наиболее эффективной из сравниваемых вариантов будет ПГУ-ВЦГ с газификаторами *TRIG*.

Таблица 1

Показатели эффективности ТЭС на буром угле

Параметр	ПГУ-ВЦГ с газификаторами <i>TRIG</i> , 850 МВт	ТЭС с сверхкритическим и параметрами, 660 МВт	ТЭС с ультра-сверхкритическими параметрами, 1000 МВт
Q'_i , МДж/кг	14,3	16,3	16,3
W^r , %	34,1	30,3	31,3
КПД нетто, %	43,68	40,8	42,94

ПГУ-ВЦГ с газификаторами *TRIG* обеспечивают хорошие экологические показатели, табл. 2.

Таблица 2

Сравнение выбросов со стандартом Китая

Выброс	ПГУ-ВЦГ с газификаторами <i>TRIG</i>	Для ПГУ и ПГУ-ВЦГ (стандарт)	Для ТЭС 1000 МВт с ультрасверхкритическими параметрами (стандарт)
SO ₂ , мг/нм ³	2,95	35	97,1
NO _x , мг/нм ³ (на выходе из дымовой трубы КУ)	47	50	80
Ртуть, мг/нм ³	0,0013	0,03	-
Твердые частицы, мг/нм ³	-	5	29,31

Список использованных источников

1. Zhuang Q. TRIG™ for Low Rank Coal: A New Perspective on IGCC.
2. Zhuang Q., Biondi M., Yan S., Bhagat K., Vansickle R., Chen C., Tan H., Zhu Y., You W., Xia W. TRIG™: An advanced gasification technology to utilize low rank coals for power // Fuel. 2015. № 152.

УДК 620.92

**ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ НА
ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СТАНЦИЯХ**

PREVENTION OF HYDRATING ON GAS-DISTRIBUTING STATIONS