

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОСТАВА ГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗА, ПРОИЗВЕДЕННОГО ИЗ РАЗЛИЧНОГО СЫРЬЯ

А. С. ЗУБАКИН, аспирант

С. А. ПЛОТНИКОВ, д-р техн. наук, профессор
ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет»,
Киров, Российская Федерация

П. Ю. МАЛЫШКИН, аспирант

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,
Горки, Республика Беларусь

Введение. Использование генераторного газа в качестве моторного топлива, несмотря на более чем полуторавековую историю, ограничивается не только низким КПД двигателя, работающим на данном виде топлива, но и нестабильным химическим и физическим составом топлива. Химический состав генераторного газа во многом определяется свойствами топлива, конструкцией газогенератора, метеорологическими условиями, объемом потребления и рядом менее значимых показателей. Большой пласт научных исследований, проведенных в 30–60-х годах XX века, остается непроанализированным.

Современный научный подход в купе с мощной вычислительной техникой позволяет найти наилучшие технические решения при производстве генераторного газа, задать вектор развития газогенераторной тематики как важной части альтернативной энергетики [1].

Большой объем теоретических исследований по данному вопросу проведен Н. Г. Юдушкиным [2], Д. Б. Гинзбургером [3], С. Л. Федосеевым, А. Б. Чернышевым [4], С. В. Кафтаном [5], А. Б. Гениным [6], В. В. Сергеевым [7] и рядом других ученых.

Несмотря на это, остается не рассмотренным до конца вопрос получения генераторного газа с заданными характеристиками из различного сырья с минимальными затратами и максимальным выходом при химической стабильности получаемого топлива.

Рассматривая химизм образования генераторного газа в газогенераторе, исследователи до сих пор не поставили точку в первичной стадии образования CO или CO₂, хотя в последнее время склоняются к теории параллельности реакции образования этих компонентов, при этом интенсивность образования того или иного компонента во многом зависит от температуры в зоне окисления.

Целью данной работы является теоретическое определение состава генераторного газа при работе на различных видах сырья.

Для достижения цели были поставлены задачи: определить влияние химического состава, его геометрических размеров, физического состояния различного сырья на выход генераторного газа и его качественный состав.

Основная часть. Объектом исследования является состав генераторного газа из различных видов сырья, полученного на газогенераторной установке, работающей по обращенному процессу.

При расчете теоретического состава генераторного газа применяют различные подходы, и каждый подход имеет сильные и слабые стороны. Большинство методик не учитывает химическое взаимодействие элементов между собой и углеродом, которые поступили из зон (например, с периферии) с другой температурой [2]. Также многие не учитывают тот факт, что вода распадается на кислород и водород при температурах свыше 2000 °С, в то время как в зоне реакции редко достигается 1500 °С. Многие методики в расчетах опускают наличие метана в составе готового продукта [3], принимая как аксиому его наличие в пределах 1–2 %. Азот не учитывается в материальном балансе, как и избыток воздуха. Потери тепла в зоне газификации принимают как некое численное значение. В ряде методик не учитывается парциальное давление азота [4], хотя именно азот составляет более половины генераторного газа. В работе [5] не учитывается влага из воздуха, которая также участвует в процессе. Метод А. Б. Генина [6] подразумевает решение 5 уравнений с 6 неизвестными, что требует подмены одной неизвестной числом. Все предложенные методики обладают большим преимуществом – простотой расчетов, что было актуально в середине прошлого века.

С развитием вычислительной техники, аналитического и математического аппарата появилась возможность усложнить расчеты, привести их к реальным процессам газификации топлива. Компьютерное моделирование с помощью конечных элементов позволяет повысить точность расчетов, упростить решение сложных элементов, сделать процесс графически наглядным. Для этого можно рассмотреть современные методики, предложенные рядом авторов. Например, В. В. Сергеевым [7] (математическое моделирование процесса газификации), Р. Г. Сафиним, Н. Ф. Тимербаевым, З. Г. Саттаровой [8] (математическая модель процессов, протекающих в восстановительной зоне, а также процесс термической переработки древесины и отходов). Шафорост Д. А. [9] предложил методику балансовой модели. Ряд авторов (Ю. А. Каграманов, А. М. Дубинин, А. Ф. Рыжков, В. Г. Тупоногов, Е. С. Лабинцев [10]) предложили модель процесса газификации двухзонного газогенератора на воздушном дутье с псевдосжиженным слоем. Данные методики используют современный математический анализ, последние наработки в химизме процесса, дающие низкую погрешность и при-

ближенные к реальным процессам, но, несмотря на это, у них наблюдается и ряд допущений, что сказывается на точности конечного результата. Особого внимания заслуживает методика, предложенная Е. М. Кашиным [11], в которой учтены вышеописанные замечания.

Общий недостаток всех методик – неудовлетворительная сходимость теоретических расчетов с практическими результатами. Данное явление можно обосновать недоизученностью процесса газификации, как химического процесса, так и физико-механического процесса в зоне реакции и в общем объеме. Непостоянство химического состава сырья наряду с нестабильностью горения дает большой разброс измерений.

Наравне с проблемами, возникающими при теоретических расчетах самого процесса сгорания, остается неисследованным влияние конструктивных особенностей газогенераторов на конечный выход генераторного газа.

Проведенные нами теоретические и практические исследования [11] показали разброс расчетных и фактически полученных значений генераторного газа до 10–15 %, а иногда и до 30 %, что недопустимо и требует дальнейшего совершенствования расчетов и конструкции газогенераторов.

Большое влияние на стабильность и качество генераторного газа оказывает конструкция газогенератора. Как показали эксперименты [1], не получается достичь одинаково высоких показателей на различных видах топлива на одном и том же газогенераторе.

В качестве сырья для газогенератора может быть любая древесина, отходы лесозаготовки и деревопереработки, солома, шелуха и другие остатки сельхозпродукции, торф, каменный уголь и т. д.

На газификацию сырья, помимо вида и сорта, влияют влажность, размеры, плотность, конструкция газогенератора. Так, например, выход горючих компонентов при газификации березы выше, чем при использовании осины, ольхи (таблица). Повышение влажности древесных чурок с 12 % до 28 % снижает развиваемую мощность двигателя с 42 кВт до 28 кВт [2], так как присутствуют затраты энергии на процесс сушки в самом газогенераторе в зоне бункера, неполное разложение на горючие компоненты, высокое содержание балласта – азота и т. д.

Большое значение имеет размер сырья. Чем меньше размер, тем больше активная поверхность, но наблюдается и обратный эффект: слеживается, спекается масса, нарушая подачу воздуха к колосниковой решетке в зону восстановления. Например, при использовании древесного угля, как самого теплотворного топлива с низким содержанием

золы, оптимальный размер угля составляет 20–40 мм, при этом содержание мелочи (меньше 20 мм) – не более 5 %.

**Химический состав генераторного газа, получаемого
из различного сырья**

Наименования сырья	Горючие компоненты, %				Балласт, %		
	H ₂	C _n H _m	CO	CH ₄	O ₂	N ₂	CO ₂
Древесные чурки, $\omega = 27\%$	9,7	0,1-0,3	9,0	3,7	0,4	61,2	16,0
Древесные чурки, $\omega = 11\%$	15,0	0,2	21	3,6	0,6	49,2	10,6
Березовые чурки, $\omega = 28\%$	11,4	0,3	27,5	1,9	0,4	50,8	7,6
Еловые чурки, $\omega = 25,5\%$	11,7	0,2	28,8	3,3	0,1	50,1	5,6
Щепа	9,52	0,36	28,6	2,96	0,2	52,37	6,36
Хвоя	6	0,1	29,4	1,3	–	59	4
Шевельгаз	40	2	30	10	–	8	–

При использовании торфа как сырья необходимо производить подсушку и брикетирование, что повышает энергетическую ценность и механическую прочность брикетов. В качестве сырья возможно использование полукокса, полученного при сухой перегонке каменного угля. Однако это возможно лишь для ограниченного ряда полукокса в связи с высоким содержанием золы. Применение антрацитов ограничено зольностью, большим коксовым остатком (до 95 %) и малым распространением.

Большое значение имеет размер кусков топлива, так как при горении меняется форма, размеры и укладка слоя, его газопроницаемость, в связи с чем скорость протекания реакции различна в разных точках слоя.

Заключение. На основании проведенных теоретических исследований можно сделать следующие выводы:

- несмотря на большое количество методик расчета выхода генераторного газа, ни одна из них не описывает полностью процесс образования генераторного газа;
- для более полного описания методики расчета необходимо применять современный математический анализ с использованием программного комплекса типа MathCAD и других приложений, использовать метод конечных элементов;
- конструкция газогенераторов требует совершенствования на основе расчетов процесса газообразования;
- для каждого вида сырья требуется свой газогенератор, применение универсального газогенератора приводит к усредненным показателям;

- большое значение имеет размер сырья. При выходе за пределы оптимальных значений резко снижается выход качественного газа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зубакин, А. С. Разработка и исследование газогенераторов для производства газообразного топлива. / А. С. Зубаник, А. Н. Коротков // Улучшение эксплуатационных показателей двигателей внутреннего сгорания: материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. / Мин-во сельского хозяйства РФ; ФГБОУ ВО «Вятская государственная сельскохозяйственная академия». – Вятка, 2016. – С. 373–379.
2. Юдушкин, Н. Г. Газогенераторные тракторы. Теория, конструкция и расчет / Н. Г. Юдушкин. – М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1955. – 244 с.
3. Гинзбург, Д. Б. Газификация низкосортного топлива / Д. Б. Гинзбург. – М.: Государственное издательство литературы по строительным материалам, 1950. – 173 с.
4. Федосеев, С. Д. Полукоксование и газификация твердого топлива / С. Д. Федосеев, А. Б. Чернышев. – М.: Государственное научно-техническое издательство нефтяной горно-топливной литературы, 1960. – 327 с.
5. Общая химическая технология топлива / под ред. С. В. Кафтанова. – 2-е изд. – М., Л.: Государственное научно-техническое издательство химической литературы, 1947. – 497 с.
6. Генин, А. Б. Расчет теплохимического процесса получения силового газа из древесины / А. Б. Генин // Перевод на газ мощных двигателей дизеля: сборник статей. – М.: Речиздат, 1945.
7. Сергеев, В. В. Теплоэнергетические основы промышленной слоевой газификации растительной биомассы: дис. ... д-ра техн. наук / В. В. Сергеев. – СПб., 2009. – С. 84–97.
8. Сафин, Р. Г. Технология переработки древесных отходов в генераторный газ / Р. Г. Сафин, Н. Ф. Тимербаев, З. Г. Саттарова. – Казань: Изд-во КНИТУ, 2014. – 116 с.
9. Шафорост, Д. А. Технологические основы газификации угля в барботируемом расплаве шлака для экологически чистой и безотходной ТЭС: дис. ... канд. техн. наук / Д. А. Шафорост. – Новочеркасск, 2000. – С. 84–97.
10. Двухзонный газогенератор на воздушном дутье с псевдооживленным слоем / А. М. Дубинин [и др.] // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов, 2015. – Т. 326. – № 3. – С. 50–57.
11. Кашин, Е. М. Балансово-концентрационный метод определения состава и выхода древесного генераторного газа. Балансовая часть / Е. М. Кашин, В. Н. Диденко // Деревообрабатывающая промышленность. – 2018. – № 1. – 91 с.
12. Плотников, С. А. Анализ процесса сгорания генераторного газа и его смеси с бензином в поршневом двигателе / С. А. Плотников, А. С. Зубакин // Двигателестроение. – 2018. – № 3. – С. 14–18.