



## REFERENCES

1. Polivanov V. I. Gosudarstvennaya politika v teploenergetike [State policy in heat power engineering]. Kommunalny kompleks Rossii [Communal complex of Russia]. 2013. № 9. P. 8–12.
2. Lebedeva E. A. Analiz effektivnosti ispolzovaniya kogeneratsionnykh tekhnologiy v kotelykh ustanovkakh [Analysis of the efficiency of using cogeneration technologies in boiler plants]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. 2019, № 1. P. 105–112.
3. Lebedeva E. A., Pischaskin I. G., Dagaev S. Yu. Perspektivy ispolzovaniya kogeneratsionnykh tekhnologiy v parovykh i vodogreynykh kotelnykh [Prospects for the use of cogeneration technologies in steam and hot water boilers]. Energo- i resursosberezhenie. Energoobespechenie. Netraditsionnye i vozobnovlyаемые istochniki energii. Atomnaya energetika : materialy Mezhdunar. nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov I molodykh uchyoniykh, posvyaschyonnoy pamyati professor Danilova N. I. (1945-2015) – Danilovskikh chteniy (Ekaterinburg, 09-13 dekabrya 2019 g.). Ekaterinburg, UrFU, 2019. P. 308–311.

© **Е. А. Лебедева, М. А. Разина, В. А. Яковлев, 2022**

Получено: 21.12.2021 г.

УДК.662.76

**С. В. БОЛДИН**, канд. техн. наук, доц. кафедры теплогасоснабжения;  
**Н. Т. ПУЗИКОВ**, канд. техн. наук, доц. кафедры теплогасоснабжения

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАЗОГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗА В ГАЗОПОРШНЕВОЙ УСТАНОВКЕ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»  
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 433-45-35;  
факс: (831) 430-19-46; эл. почта: e-mail: moralova@yandex.ru

*Ключевые слова:* генераторный газ, теплота сгорания, зона генерации, газопоршневая установка.

---

*Представлен анализ данных экспериментов на газогенераторной установке. Выполнен анализ зависимости теплоты сгорания генераторного газа от температуры и расхода воды в зону генерации и анализ зависимости состава генераторного газа от температуры газа на выходе из газогенератора.*

---

Для когенерации может использоваться широкий диапазон видов топлива, включая, например, отходы, возобновляемое топливо (биомасса), а также ископаемые виды топлива – уголь, нефть и природный газ.

Дешевым местным топливом могут быть отходы древесины, отходы сельхозпроизводства, бурый и каменный уголь. Выработка электроэнергии из такого топлива возможна при генерации горючего газа низкой калорийности в газогенераторе обращенного процесса с последующим использованием этого газа в газопоршневом двигателе, приводящем электрогенератор.

Слоевые газогенераторы на специально подготовленном топливе (высушенные чурки лиственных пород или древесный уголь) широко применялись как источники топлива как для транспортных двигателей, так и для стационарных двигателей внутреннего сгорания, приводящих электрогенератор. Низкая калорийность



получаемого газа в таких газогенераторах объяснялась забалластированностью его азотом и углекислым газом, так как применялось воздушное дутье, и азот воздуха переходил в генераторный газ [1]. Кроме того, для уменьшения смолы в газе для работы на чурках применялся обращенный процесс, что дополнительно снижало калорийность газа примерно до 1000 ккал/куб. м.

При использовании генераторного газа как топлива газопоршневых двигателей падение мощности двигателя составляет 50 %. Путем повышения степени сжатия можно снизить падение мощности до 35 %. Причиной падения мощности является уменьшение степени наполнения цилиндра воздухом, так как половину его рабочего объема занимает генераторный газ. Второй причиной является использование двигателя в качестве вакуум-насоса для прогона воздуха генераторного газа через газогенератор и систему фильтров. Это можно назвать антинаддувом. Перевод серийно выпускаемых бензиновых и дизельных двигателей со степенью сжатия 7–15 на генераторный газ приведет к падению мощности, которую уже нельзя компенсировать увеличением степени сжатия. Таким образом, для снижения падения мощности двигателя целесообразно использовать смесь генераторного газа с природным.

В ходе исследования были проведены серии экспериментов, направленных на определение оптимальных режимов работы установки, обеспечивающих минимальный выход смолы с генераторным газом и максимально возможную калорийность генераторного газа. Для выявления оптимальных режимов были проведены серии испытаний с изменением расхода воздуха без подачи воды и анализом выхода смолы и со впрыском воды в зону горения с анализом калорийности газа.

Вода подается в нижнюю часть реактора в слой раскаленного карбонизата. Газы, образующиеся при газификации, смешиваются с продуктами термического разложения древесного сырья и выводятся из газогенератора [2]. Генераторный газ после системы охлаждения и очистки от органических веществ и угольных частиц в скруббере направляется в ресивер для хранения газа.

Для снижения выхода смолы были выполнены изменения в конструкции фильтра скруббера и проведен подбор режимов подачи воздуха через фурмы газогенератора.

Измененная конструкция фильтра, установленного в скруббере, предполагает организованный отвод осевшей на стружке смолы в нижнюю часть скруббера. Это исключит попадание капель смолы в поток генераторного газа [3].

Для анализа влияния температурных режимов работы газогенератора на выход смолы из газогенератора проведены серии экспериментов: все фурмы открыты полностью; все фурмы открыты на 75 % живого сечения по воздуху; все фурмы открыты на 50 % живого сечения по воздуху; открыты полностью 50 % фурм, остальные закрыты в шахматном порядке; все фурмы открыты на 25 % живого сечения по воздуху. Для доступа к фурмам кожух воздушного коллектора был снят.

Для достижения максимально возможной калорийности генераторного газа был выполнен подбор режимов подачи воды в зону восстановления газогенератора и режимов подачи воздуха в фурмы.

Для анализа влияния режимов впрыска воды в зону восстановления на калорийность генераторного газа проведены серии экспериментов с расходами воды: 0,11, 0,27, 0,30, 0,32 кг/ч.

Каждую серию экспериментов сопровождали контролем показаний установленных термометров и показаний расходомерного устройства, а также контролем выхода смолы (визуальный контроль или мерные пробы сточной воды из скруббера) и пробами на состав генераторного газа. Запись показаний проводилась по



истечении 10–15 минут после изменения режима [4].

В целях гарантированно стабильной работы установки в течение всего эксперимента испытания проводились при максимальной загрузке топлива (250–300 кг) [5]. При этом были достигнуты следующие параметры технологического процесса:

- температура внутри газогенератора (верхняя точка) – 1200 °С;
- продолжительность карбонизации – 10–12 мин;
- температура газификации карбонизата (нижняя точка) – 1200 °С;
- продолжительность газификации карбонизата – 30–40 мин;
- температура газа на выходе из газогенератора – 800–850 °С;
- температура газа после системы очистки и охлаждения – 60 °С;
- количество подаваемого сырья – 53 кг/ч;
- количество образующейся золы – 0,3 кг/ч;
- давление в газогенераторе – 150 кПа.

Получены экспериментальные данные зависимости низшей теплоты сгорания генераторного газа  $Q_h$ , МДж/м<sup>3</sup> от температуры газа на выходе из генератора без подачи воды и с подачей воды в зону генерации, представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Экспериментальные данные зависимости низшей теплоты сгорания генераторного газа от температуры и расхода воды в зону генерации**

Температура газа на выходе из генератора $T$ , °С	Низшая теплота сгорания генераторного газа $Q_h$ , Дж/м <sup>3</sup>	
	без подачи воды	расход воды 32,0 кг/ч
310,00	5,15	5,1
330,00	3,90	5,23
350,00	3,05	6,05
370,00	2,69	6,33
380,00	2,60	5,71
400,00	2,80	4,83
420,00	3,48	4,2
430,00	3,51	4,18

По данным табл. 1 построен график зависимости низшей теплоты сгорания генераторного газа от температуры и расхода воды в зону генерации (рис. 1).

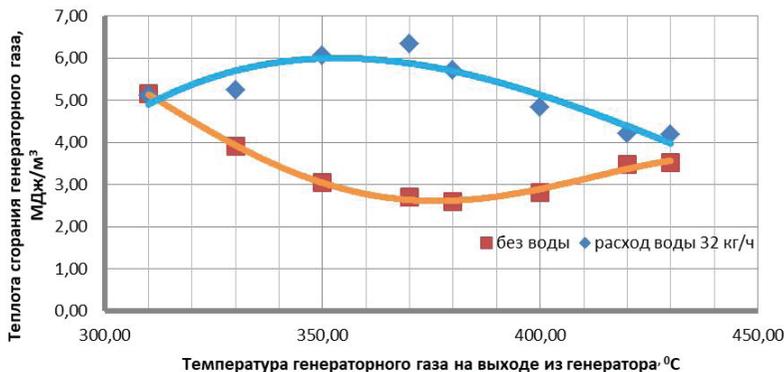


Рис. 1. Зависимость низшей теплоты сгорания генераторного газа от температуры и расхода воды в зону генерации



Были проведены эксперименты по измерению состава генераторного газа при температуре газа 370 °С для различных режимов подачи воды в зону генерации, результаты сведены в табл. 2.

Таблица 2

### Влияние подачи воды в зону горения на состав генераторного газа

Расход воды в зону генерации, кг/ч	Состав генераторного газа, объемная доля, %			
	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO	O <sub>2</sub>
0,00	11,50	0,80	9,20	1,60
11,00	9,67	2,44	20,11	0,74
27,00	7,53	4,73	28,93	0,00
30,00	7,95	4,86	28,90	0,00
32,00	8,33	4,96	28,93	0,00

По данным табл. 2 построен график зависимости состава генераторного газа от расхода воды в зону генерации (рис. 2).

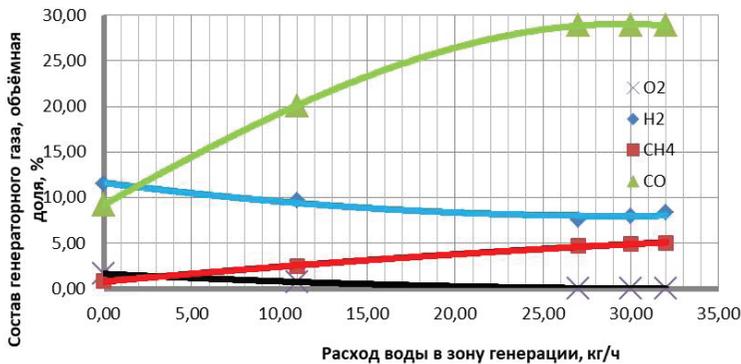


Рис. 2. Зависимость состава генераторного газа от расхода воды в зону генерации

Получены экспериментальные данные зависимости состава генераторного газа от температуры газа на выходе из генератора без подачи воды в зону генерации, представлены в табл. 3.

Таблица 3

### Состав генераторного газа при различных температурах на выходе из газогенератора

Температура газа на выходе из генератора T, °С	Объемная доля, %			
	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO	O <sub>2</sub>
310,00	17,58	4,00	14,40	1,98
330,00	15,00	2,90	10,80	1,90
350,00	12,90	1,10	9,10	1,80
370,00	11,50	0,80	9,20	1,60
380,00	11,00	0,60	10,20	1,50
400,00	10,70	0,33	12,70	1,95
420,00	10,70	0,40	17,30	1,40



По данным табл. 3 построен график зависимости состава генераторного газа от температуры на выходе из газогенератора (рис. 3).

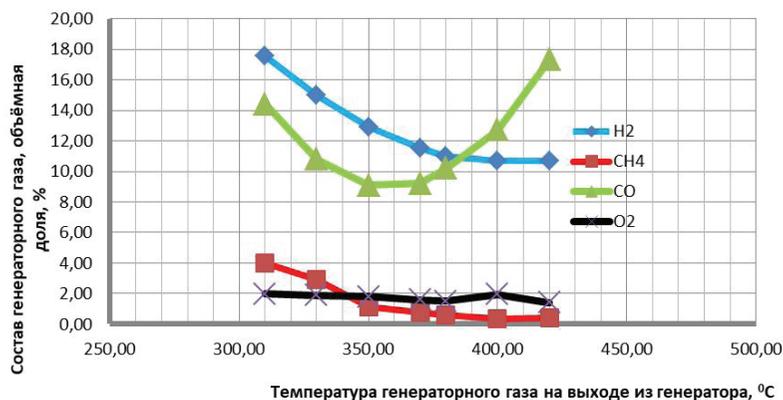


Рис. 3. Зависимость состава генераторного газа от температуры на выходе из газогенератора

Достигнутого в ходе экспериментов значения низшей теплоты сгорания генераторного  $Q_h = 6,33$  Дж/м<sup>3</sup> недостаточно для питания ДВС. Газ такой калорийности можно использовать для питания ДВС только в смеси с природным газом [6]. Однако при подаче в газогенератор вместо воздуха водяного пара можно существенно повысить его калорийность (в 3–3,5 раза). И такой генераторный газ можно будет использовать для питания двигателя газопоршневой установки, но со снижением ее мощности.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пузиков, Н. Т. Анализ оптимальных режимов работы установки для производства генераторных газов из древесных отходов / Н. Т. Пузиков, С. В. Болдин. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2015. – № 1 (33). – С. 72–75.
2. Болдин, С. В. Газогенераторная установка для производства генераторных газов из древесных отходов / С. В. Болдин, Н. Т. Пузиков. – Текст : непосредственный // Вестник Нижегородского государственного инженерно-экономического института. – Княгинино, 2011. – Том 2, № 2 (3). – С. 40–47.
3. Болдин, С. В. Энергосберегающие технологии использования биогаза в когенерационных установках / С. В. Болдин, Н. Т. Пузиков. – Текст : непосредственный // Вестник Нижегородского государственного инженерно-экономического института. – Княгинино. – 2011. – Т. 2. – № 2 (3). – С. 47–55.
4. Болдин, С. В. Экспериментальная установка для производства генераторных газов из древесных отходов / С. В. Болдин, Н. Т. Пузиков, А. С. Коробков. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2008. – № 1. – С. 30–32.
5. Болдин, С. В. Газогенератор для производства газов из древесных отходов / С. В. Болдин, Н. Т. Пузиков, А. С. Коробков. – Текст : непосредственный // Великие реки' 2008 : X международный научно-промышленный форум : тезисы докладов. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2009. – С. 163–164. – ISBN 978-5-87941-590-2.



**BOLDIN Sergey Valentinovich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of heat and gas supply; PUZIKOV Nikolay Timofeevich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of heat and gas supply**

## USE OF GENERATOR GAS IN A GAS PISTON UNIT

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering  
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 433-45-35;  
e-mail: moralova@yandex.ru

*Key words:* generator gas, calorific value, generation zone, gas piston plant.

---

*The article presents an analysis of the data of experiments on a gas-generating plant. The analysis of the dependence of the heat of combustion of the generator gas on the temperature and water flow rate in the generation zone and the analysis of the dependence of the composition of the generator gas on the temperature of the gas at the outlet of the gas generator.*

---

### REFERENCES

1. Puzikov N. T., Boldin S. V. Analiz optimalnykh rezhimov raboty ustanovki dlya proizvodstva generatornykh gazov iz drevesnykh otkhodov [Analysis of the optimal operating modes of the plant for the production of generator gases from wood waste]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2015, № 1(33). P. 72–75.
2. Boldin S. V., Puzikov N. T. Gazogeneratornaya ustanovka dlya proizvodstva generatornykh gazov iz drevesnykh otkhodov [Gas generator set for the production of generator gases from wood waste]. Vestnik Nizhegorod. gos. inzhenerno-ekonomicheskogo instituta [Bulletin of Nizhny Novgorod state engineering-economic institute], Knyaginino, 2011. V. 2. P. 40–47.
3. Boldin S. V., Puzikov N. T. Energoberegayushchie tekhnologii ispolzovaniya biogaza v kogenerentnykh ustanovkakh [Energy-saving technology for the use of biogas in cogeneration plants]. Vestnik Nizhegorod. gos. inzhenerno-ekonomicheskogo instituta [Bulletin of Nizhny Novgorod state engineering-economic institute], Knyaginino, 2011. V. 2. P. 47–55.
4. Boldin S. V., Puzikov N. T., Korobkov A. S. Eksperimentalnaya ustanovka dlya proizvodstva generatornykh gazov iz drevesnykh otkhodov [An experimental installation for manufacture of generator gases from wood waste]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2008, № 1. P. 30–32.
5. Boldin S. V., Puzikov N. T., Korobkov A. S. Gazogenerator dlya proizvodstva gazov iz drevesnykh otkhodov [A gas generator for producing gas from wood waste]. Velikie reki – 2008 : X mezhdunar. nauchno-promysh. forum, tez. dokl. Nizhny Novgorod, NNGASU, 2009. P. 163–164. – ISBN 978-5-87941-590-2.

© С. В. Болдин, Н. Т. Пузиков, 2022

Получено: 27.12.2021 г.