

УДК: 62 - 69; 662.761; 62 - 665.9

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРА НА АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВИДАХ ТОПЛИВА**

**П. А. Савиных**, д-р техн. наук, профессор;

**А. В. Палицын**, канд. техн. наук, доцент,

ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА,

ул. Емельянова, 1, пос. Молочное, Вологодская область, Россия, 160555

**А. Н. Коротков**,

ООО «СПК «Колхоз Андога»,

ул. Городская 2, с. Никольское, Кадуйский р-он, Вологодская область, Россия, 162520

E-mail: [mehfac@yandex.ru](mailto:mehfac@yandex.ru)

*Аннотация.* В статье рассматриваются варианты перевода теплогенератора со стандартного жидкого, на альтернативные виды топлива. В качестве альтернативных топлив рассматриваются твердые карбоносодержащие отходы промышленности и сельского хозяйства, природный и генераторный газы. Приводится анализ недостатков кустарных и коммерческих вариантов модернизации на примере теплогенераторов семейства ТАУ (топочный агрегат универсальный). Исследования по работе теплогенератора на стандартном и альтернативных видах топлив осуществлены на базе установки ОВ – 95 (отопительно-вентиляционная установка). На природном газе теплогенератор обладает более высоким термическим КПД, а в выхлопных газах содержится меньше токсичных веществ. Также, в случае необходимости, тепловая мощность теплогенератора может быть форсирована на 12-15%, без повышения токсичности выхлопных газов. Для работы теплогенератора на генераторном газе, необходима специальная камера сгорания с увеличенными проходными сечениями для подачи генераторного газа и оснащенная газовым стабилизатором. Генераторный газ из твердых карбоносодержащих отходов промышленности и сельского хозяйства производился в экспериментальной газогенераторной установке с параметрическим управлением процессом газификации. Характеристики теплогенератора при работе на генераторном газе варьируются в широких пределах, что обусловлено различным химическим составом генераторного газа и его теплотворной способностью, в зависимости от вида сырья, используемого в газогенераторе. Генераторный газ, по сравнению с природным, горит вяло. Это приводит к снижению термического КПД теплогенератора вследствие того, что генераторный газ догорает в выхлопной системе теплогенератора. Работу теплогенератора на генераторном газе можно охарактеризовать как удовлетворительную. Это во многом обусловлено тем, что при эксплуатации теплогенератора приходится выбирать компромиссный вариант настроек эксплуатационных характеристик между технологическими и экологическими критериями.

*Ключевые слова:* теплогенератор, генераторный газ, газогенераторная установка, состав выхлопных газов, оценка эффективности.

**Введение.** Затраты на энергоносители при производстве тепловой энергии составляют значительную долю в себестоимости производимой продукции и, в конечном итоге, формируют критерии конкурентоспособности предприятия в своем сегменте рынка [1]. Для локального производства тепловой энергии на сельскохозяйственных предприятиях применяются теплогенераторы различных систем и конструкций. Их тепловая мощность варьируется от десятков до тысяч киловатт, а в качестве топлива для них могут быть использованы жидкие (керосин, дизельное топливо, мазут), газообразные (природный или генераторный горючие газы) и твердые (каменный уголь, торф, дрова, отходы сельского хозяйства и промышленности) энергоносители [1-4].

Поисковые исследования и опытно-конструкторские работы по использованию местных биоэнергетических ресурсов, отходов сельскохозяйственного производства проводятся как в развивающихся странах Африки, южной Америки, так и технологически развитых странах Европейского союза, США. При этом решаются не только экологические, но и социально - экономические вопросы территорий [5-8].

Многие теплогенераторы исправно функционируют еще со времён СССР, яркими примерами такого долголетия являются ТАУ - 0,75 и ТАУ - 1,5. На сельскохозяйственных предприятиях, имеющих подключение к системе централизованного снабжения природным газом, жидкотопливные горелки теплогенератора заменялись на газовые. В первую очередь модернизация продиктована экономическими соображениями – ценой энергоносителя. Экологические критерии были сопутствующим фактором.

Там, где природный газ до сих пор остается только «голубой мечтой», доморощенные «кулибины» по своему разумению модернизировали стандартные теплогенераторы, переводя их на местные виды топлив. Наиболее простым вариантом модернизации является устройство топки для твердого топлива в самом корпусе теплообменника

теплогенератора. В качестве недостатков этого варианта модернизации можно выделить:

- термическую деформацию корпуса теплообменника;
- загрязнение теплообменника продуктами неполного сгорания твердого топлива (смолами и сажей), а также зольным остатком;
- при отключении электроэнергии отсутствует возможность оперативного «выключения» из работы теплогенератора.

С учетом как положительного, так и негативного опыта перевода стандартного теплогенератора на местные виды топлив, коммерческими структурами разработаны внешние топки - газификаторы [9-12]. Тем не менее, главный недостаток, характерный для кустарной модернизации системы, сохранился: при отключении электроэнергии отсутствует возможность оперативного «выключения» из работы теплогенератора. Для его устранения необходимо устанавливать перепускную систему для парогазовой смеси между газификатором и теплогенератором байпасного типа, либо подавать в теплогенератор охлажденный генераторный газ. Оба варианта имеют как достоинства, так и недостатки.

*Цель исследования* – получение и анализ эксплуатационных характеристик теплогенератора при работе на альтернативных видах топлив по сравнению с жидким по критериям энергоэффективности и экологичности.

**Методика.** Эксперименты по работе теплогенератора на стандартном и альтернативных видах топлив осуществлены на базе отопительно-вентиляционной установки ОВ - 95. Для получения тепловой энергии в данной установке в качестве стандартного используется дизельное топливо по ГОСТ 305-82. Общий вид установки с контрольно-измерительным оборудованием приведен на рисунке 1. Расход дизельного топлива определялся электронными весами «Меркурий» М-ER 327 АС-15.2 LED. Температура нагретого воздуха измерялась кон-

троллером REX -C100, с рабочим температурным интервалом от 0 до 400 °С. Температура выхлопных газов измерялась контроллером REX -C700, с рабочим температурным интервалом от 0 до 1200 °С. Состав выхлопных газов контролировался газоанализатором «ИНФРАКАР М 1 Т.01» по ГОСТ Р 52033-200. Оценка эффективности теплоэнергетического оборудования выполнена по типовым методикам, изложенным в литературе [3, 14-16].



Рисунок 1 - Работа ОВ - 95 на дизельном топливе

Работа ОВ - 95 на пропан-бутановой смеси приведена на рисунке 2. Подача газа в камеру сгорания теплогенератора регулировалась газовым вентилем и осуществлялась через жиклер, установленный в отверстие для штатной запальной свечи накаливания. Вентилятор подачи воздуха в камеру сгорания и вентилятор охлаждения теплогенератора изменениям не подвергались.



Рисунок 2 - Работа ОВ - 95 на пропан – бутановой смеси

Работа ОВ - 95 на генераторном газе приведена на рисунке 3. Штатная камера сгорания заменена на разработанную камеру сгорания с горелкой, имеющей увеличенные проходные сечения для подачи генераторного газа. На выходе из горелки установлен газовый стабилизатор X - образной конфигурации. Подача воздуха и генераторного газа в смеситель осуществлялась вентиляторами с питанием от частотных преобразо-

вателей. Объемный расход генераторного газа оценивался расходомером Вентури. Вентилятор охлаждения теплогенератора изменению не подвергался.

Общий вид экспериментальной газогенераторной установки с параметрическим управлением, использованной в экспериментах для питания теплогенератора генераторным газом, приведен на рисунке 4.



Рис. 3. Работа ОВ - 95 на генераторном газе



Рис. 4. Общий вид экспериментальной газогенераторной установки

**Результаты.** Основные экспериментальные данные по работе ОВ - 95 на различных видах топлива сведены в таблицу 1.

За эталонные показатели примем характеристики, полученные с теплогенератора при работе на стандартном виде топлива - дизельном. Часовой расход дизельного топлива теплогенератором на 3,78% выше заявленного в технической характеристике руководства по эксплуатации [13]. При этом,

отношение температуры выхлопных газов к температуре нагретого воздуха на выходе из теплогенератора составляет 2,048. В составе выхлопных газов присутствуют в небольших количествах не вступившие в реакцию с кислородом (O<sub>2</sub>) углеводороды – CH<sub>4</sub>, ppm (объемной доли млн.<sup>-1</sup> углеводородов в пересчете на гексан).

Таблица 1

Экспериментальные данные

Вид топлива	Компоненты выхлопных газов				Lamb	t <sub>(воздуха)</sub> , °C	t <sub>(выхлопных газов)</sub> , °C	Расход топлива
	CO, %	CH <sub>4</sub> , ppm	CO <sub>2</sub> , %	O <sub>2</sub> , %				
Дизельное топливо (летнее)	0	28 ÷ 35	13,18 ÷ 13,36	2,95 ÷ 3,15	1,16 ÷ 1,172	165	338	1,37 кг/час
Пропан - бутановая смесь (зимняя)	0	0	10,7 ÷ 10,92	3,45 ÷ 3,88	1,192 ÷ 1,22	165	332	1,172 кг/час
Генераторный газ (из березового древесного угля)	0,2 ÷ 0,6	5 ÷ 9	17,3 ÷ 16,8	2,18 ÷ 3,3	1,082 ÷ 1,152	135	330	3,6 м <sup>3</sup> /час
Генераторный газ (из березовых дров)	0,34 ÷ 0,58	7 ÷ 14	15,42 ÷ 15,8	3,6 ÷ 3,95	1,116 ÷ 1,142	151	354	3,4 м <sup>3</sup> /час
Генераторный газ (из березового древесного угля и навоза КРС)	0,18 ÷ 0,28	7 ÷ 14	14,28 ÷ 14,5	3,9 ÷ 4,6	1,158 ÷ 1,188	154	337	4,1 м <sup>3</sup> /час

Работа теплогенератора на пропан-бутановой смеси характеризуется полным сгоранием топлива. Отношение температуры выхлопных газов к температуре нагретого воздуха на выходе из теплогенератора составляет 2,012. Это характеризует более высокий термический КПД (коэффициент полезного действия) теплогенератора при эксплуатации на газообразном топливе. Поисковые эксперименты показывают, что температура нагретого воздуха на выходе из теплогенератора может быть увеличена до 185-190 °C за счет увеличения подачи газа в камеру сгорания, без повышения токсичности выхлопных газов.

Характеристики теплогенератора при работе на генераторном газе варьируются в широких пределах, что обусловлено различным химическим составом генераторного газа и его теплотворной способностью [3, 7,

8, 14, 15]. Генераторный газ, по сравнению с пропан - бутановой смесью, обладает меньшей удельной теплотворной способностью. Поисковые эксперименты показывают, что температура нагретого воздуха на выходе из теплогенератора в 165 °C может быть получена. При этом температура выхлопных газов составляет 385-394 °C. Сравнение пропан - бутановой смеси с генераторным газом показало увеличение в выхлопных газах последнего не прореагировавшего CO и углеводородов – CH<sub>4</sub>, т.е. генераторный газ фактически догорает в выхлопной системе теплогенератора.

Если в качестве критерия эффективности принять экологический, а не температурный параметр, то настройку теплогенератора необходимо производить из условия минимизации выбросов с выхлопными газами CO и CH<sub>4</sub> компонентов. Уменьшение объ-

ема генераторного газа, подаваемого в камеру сгорания, приводит к снижению температуры воздуха на выходе из теплогенератора. Увеличение объема воздуха, подаваемого в камеру сгорания, до определенных значений, способствует снижению токсичности выхлопных газов теплогенератора. Дальнейшее увеличение избытка воздуха в данной модификации камеры сгорания приводит к срыву пламени с горелки.

Производители газового оборудования для настройки горелок рекомендуют рабочий диапазон содержания CO в выхлопных газах от 0,008 до 0,01 %. [16] Выполнение рекомендованных настроечных параметров по CO для теплогенератора, работающего на генераторном газе, позволяет получать на выходе нагретый воздух с температурой 93-110 °С. Нормативы выбросов загрязняющих веществ с отработавшими газами автомобилей с бензиновыми двигателями, регламентированные ГОСТ Р 52033-2003, значительно мягче и допускают варьирование параметра CO от 4,5 до 0,3%, в зависимости от категории и комплектации автомобиля.

В качестве компромиссного варианта для настройки состава топливно-воздушной смеси теплогенератора, работающего на генераторном газе, было принято предельное значение CO в выхлопных газах до 0,6 %. При этом отношение температуры выхлопных газов к температуре нагретого воздуха на выходе из теплогенератора на различных видах генераторного газа составляет от 2,188 до 2,44.

### Выводы.

1. Эксплуатация теплогенератора на природном газе, эффективна с экономической, технической и экологической точек зрения. Газообразное топливо дешевле, работающий на нем теплогенератор обладает более высоким термическим КПД, а в выхлопных газах содержится меньше токсичных веществ. Тепловая мощность теплогенератора может быть увеличена на 12-15 %, без повышения токсичности выхлопных газов.

2. При работе теплогенератора на генераторном газе и доминировании экологического критерия, температура нагретого воздуха на выходе из теплогенератора ниже на 11-30 °С, а отношение температуры выхлопных газов к температуре нагретого воздуха на выходе из теплогенератора увеличивается на 6,83-19,1 %, в зависимости от вида используемого генераторного газа. Это приводит к снижению термического КПД из-за догорания генераторного газа в выхлопной системе теплогенератора.

3. Эксплуатация теплогенератора на генераторном газе экономически эффективна при использовании в качестве твердого топлива карбоносодержащих отходов промышленности и сельского хозяйства, а также при отсутствии централизованного снабжения природным газом. Однако для производства генераторного газа необходима газогенераторная установка с квалифицированным обслуживающим персоналом и наличие доступной сырьевой базы для получения карбоносодержащего топлива для газогенератора.

### Литература

1. Морозов Н.М. Организационно-экономические и технологические основы механизации и автоматизации животноводства. М.: Изд-во ФГБНУ «Росинформагротех», 2011. 284 с.
2. Справочник инженера-механика сельскохозяйственного производства / Под ред. В.В. Нунгезера [и др.]. М.: Изд-во ФГБНУ «Росинформагротех», 2011. Ч. II. 492 с.
3. Сергеев В.В. Повышение эффективности использования биомассы как топлива на основе газогенераторных технологий: дис. ... канд. техн. наук. С-Пб, 2002. 134 с.
4. Балтиков Д.Ф. Разработка энергетического комплекса для молочно-товарной фермы: дис. ... канд. техн. наук. Уфа, 2018. 153 с.
5. Gasifier Experimenters Kit (the GEK, США), [Электронный ресурс] [www.gekgasifier.com](http://www.gekgasifier.com) (дата обращения 15.12. 2018).

6. Chris Higman, Maarten van der Burgt. GASIFICATION. Gulf Professional Publishing is an imprint of Elsevier Science // Elsevier Science (USA), 2003. 391 p.
7. Coal and Biomass Gasification. Recent Advances and Future Challenges / Santanu De [et al.] // Springer Nature Singapore Pte Ltd., 2018. 521 p. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-7335-9>.
8. Basu P. Biomass gasification and pyrolysis: Practical design and theory. Elsevier, 2010. 364 p.
9. ООО «Агротех», [Электронный ресурс] <https://agrotech35.ru/topochnyj-blok/topochnyj-agregat-na-tverdom-toplive.html> (дата обращения 20.12. 2018).
10. ООО «ТК-Сервис», [Электронный ресурс] <https://www.otrabotka.ru/catalog/teplogeneratory/na-tverdom-toplive> (дата обращения 20.12. 2018).
11. ООО «Альфа-Инвест», [Электронный ресурс] <https://a-invest.com.ua/equipment/modernizatsiya-kotelnykh> (дата обращения 20.12. 2018).
12. ООО «Wichlacz», [Электронный ресурс] [http://www.wichlacz.com.ua/index.php?option=com\\_content&view=article&id=112&Itemid=135](http://www.wichlacz.com.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=112&Itemid=135) (дата обращения 8.12. 2018).
13. Отопительно-вентиляционные установки типа ОВ65 и ОВ95, [Электронный ресурс] <http://www.i-mash.ru/forum/biblioteka/file/1421-ov65-ov95-ustanovka-otopitelno-ventilyatsionnaya-r/> (дата обращения 20.10. 2018).
14. Алешина А.С. Газификация растительной биомассы в газогенераторах кипящего слоя: дис. ... канд. техн. наук. С -Пб, 2013. 165 с.
15. Сергеев В.В. Теплоэнергетические основы промышленной слоевой газификации растительной биомассы: дис. ... д-ра техн. наук. М., 2009. 284 с.
16. ООО «Гэсто Рус» - Российское отделение Testo AG: Практическое руководство. Измерительные технологии для отопительного оборудования [Электронный ресурс] <http://www.testo.ru> (дата обращения 12.01. 2019).

## ASSESSMENT OF EFFICIENCY OF ALTERNATIVE FUEL-POWERED HEAT GENERATORS

**P. A. Savinykh**, Dr. Techn. Sci., Professor;

**A. V. Palitsyn**, Cand. Techn. Sci., Associate Professor

State Dairy Farming Academy of Vologda,

1, Emel'yanova St., Molochnoe settlement, Vologda region, Russia, 160555

**A. N. Korotkov**,

Collective Farm agricultural production cooperative «Andoga»

2, Gorodskaya St., Nikolskoe settlement, Kaduy District, Vologda region, Russia, 162520

E-mail: [mehfac@yandex.ru](mailto:mehfac@yandex.ru)

### ABSTRACT

The article discusses options for the standard liquid fuel-powered heat generator conversion to accommodate alternative fuels. Industrial and agricultural solid carbonaceous wastes as well as natural and generator gases are considered as alternative fuels. The authors give the analysis of artisanal and commercial ways of modernization on the example of the heat generator belonging to the universal fuel unit family. Experiments on the heat generator operating on standard and alternative fuels have been carried out on the heating and ventilation unit-95. When operating on natural gas, the heat generator has a higher thermal efficiency and the exhaust gases contain less toxic substances. If required, thermal output of heat generator can be increased by 12-15 % without increasing the toxicity of exhaust gases. For the heat generator operation on generator gas a special combustion chamber is required. This combustion chamber is to be equipped with increased flow sections for the generator gas supply as well as with gas stabilizer. The generator gas

from industrial and agricultural solid carbonaceous wastes has been produced in the experimental gas generator unit with parametric control of the gasification process. When working on the generator gas the characteristics of the heat generator may vary due to different chemical composition of the generator gas and its calorific efficiency. In comparison to natural gas the generator gas does not burn easily readily. Thus it results in decreased thermal efficiency of the heat generator, since the generator gas burns up in the exhaust system of the heat generator. The heat generator operation on the generator gas can be defined as satisfactory. This is largely due to the fact that it is necessary to choose a compromise way in setting the operational characteristics between technological and ecological criteria during the heat generator operation.

*Keywords: heat generator, generator gas, gas generating unit, exhaust gas composition.*

### References

1. Morozov N.M Organizatsionno-ekonomicheskie i tekhnologicheskie osnovy mekhanizatsii i avtomatizatsii zhivotnovodstva (Organizational, economic and technological bases of mechanization and automation in animal husbandry), Moscow, Rosinformagrotekh Publ., 2011, 284 p.
2. Nungezer V.V., Lachuga Yu.F., Fedorenko V.F. Spravochnik inzhenera-mekhanika sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva (Handbook of an agricultural mechanical engineer), Moscow, Rosinformagrotekh Publ., 2011, Vol. 2, 492 p.
3. Sergeev V.V. Povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya biomassy kak topliva na osnove gazogeneratornykh tekhnologiy (Efficiency improvement of using biomass a fuel in gas-generating technologies), dis. ... kand. tekhn. nauk, St. Petersburg, 2002, 134 p.
4. Baltikov D. F. Razrabotka energeticheskogo kompleksa dlya molochno tovarnoy fermy (Development of the energy sector for the dairy farm, dis. ... kand. tekhn. nauk, Ufa, 2018, 153 p.
5. Gasifier Experimenters Kit (the GEK, USA) [Elektronnyi resurs] [www.gekgasifier.com](http://www.gekgasifier.com), data obrashcheniya 15.12.2018.
6. Chris Higman, Maarten van der Burgt. GASIFICATION. Gulf Professional Publishing is an imprint of Elsevier Science, Elsevier Science, USA, 2003, 391 p.
7. Coal and Biomass Gasification. Recent Advances and Future Challenges, Santanu De [et al.], Springer Nature Singapore Pte Ltd., 2018, 521p. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-7335-9>.
8. Basu P. Biomass gasification and pyrolysis: Practical design and theory, Elsevier, 2010, 364 p.
9. ООО «Agrotekh» (ООО «Agrotekh»), Elektronnyi resurs, <https://agrotech35.ru/topochnyj-blok/topochnyj-agregat-na-tverdom-toplive.html>, data obrashcheniya 20.12. 2018.
10. ООО «TK-Servis» (ООО TK-Servis Company), Elektronnyi resurs, <https://www.otrabotka.ru/catalog/teplogenerator/na-tverdom-toplive>, data obrashcheniya 20.12. 2018.
11. ООО Alfa-Invest (ООО Alfa-Invest Company), Elektronnyi resurs, <https://a-invest.com.ua/equipment/modernizatsiya-kotelnykh>, data obrashcheniya 20.12. 2018.
12. ООО «Wichlacz», Elektronnyi resurs, [http://www.wichlacz.com.ua/index.php?option=com\\_content&view=article&id=112&Itemid=135](http://www.wichlacz.com.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=112&Itemid=135), data obrashcheniya 08.12. 2018.
13. Otopitel'no-ventilyatsionnye ustanovki tipa OV65 i OV95 (Heating and ventilation installation type OB65 and OB95), Elektronnyi resurs, <http://www.i-mash.ru/forum/biblioteka/file/1421-ov65-ov95-ustanovka-otopitelno-ventilyatsionnaya-r/>, data obrashcheniya 20.12. 2018.
14. Aleshina A.S. Gazifikatsiya rastitel'noy biomassy v gazogeneratorakh kipyashchego sloya (Gasification of plant biomass in fluidized bed gas generators), dis. ... kand. tekhn. nauk, St. Petersburg, 2013, 165 p.
15. Sergeev V.V. Teploenergeticheskie osnovy promyshlennoy sloevoy gazifikatsii rastitel'noy biomassy (Thermal power bases of industrial layer gasification of plant biomass), dis. ... d-ra tekhn. nauk, Moscow, 2009, 284 p.
16. ООО «Testo Rus» - Rossiiskoe otdelenie Testo AG: Prakticheskoe rukovodstvo. Izmeritel'nye tekhnologii dlya otopitel'nogo oborudovaniya (ООО Testo Rus Company. The Russian branch of Testo AG: Practical Guide. Measuring technologies for heating equipment), Elektronnyi resurs, <http://www.testo.ru>, data obrashcheniya 12.01.2019.