

3. Opredelenie ob'emno-vesovyh karakteristik i vlazhnosti urozhaya hmelya / A. O. Vasil'ev, R. V. Andreev, E. P. Alekseev [i dr.] // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2018. – T. 13. – № 4 (51). – S. 5-9.
4. Perspektivy povysheniya effektivnosti hmelevodcheskogo klastera Chuvashskoj Respubliki / A. I. Zaharov, A. E. Makushev, A. V. Vasil'eva, K. V. Kirillova // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2018. – T. 13. – № 2 (49). – S. 93-99.
5. Rezul'taty issledovaniya uplotneniya dvizhatelyami traktorov mezhduryad'ya hmel'nika / P. A. Smirnov, N. N. Pushkarenko, A. P. Akimov [i dr.] // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2018. – T. 13. – № 2 (49). – S. 131-137.
6. Formirovanie hmelevodcheskogo klastera v regional'nom APK / A. I. Zaharov, A. E. Makushev, O. V. Evgrafov [i dr.] // Izvestiya Mezhdunarodnoj akademii agrarnogo obrazovaniya. – 2017. – № 34. – S. 81-87.
7. Revival of hop-production in the Chuvash Republic: problems, challenges and opportunities/ A. G. Lozhkin, A. E. Makushev, N. N. Pushkarenko [et al.] // Sustainable Economic development, Innovation Management, and Global Growth: proceedings of the 30 th International Business Information Management Association Conference. – IBIMA, 2017. – P. 5295-5299.

#### *Information about the authors*

1. **Vasiliev Alexander Olegovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technical Service, Chuvash State Agrarian University, 428003, Cheboksary, K. Marx str., 29; e-mail: 3777222@bk.ru, tel. 8-937-377-72-22;
2. **Andreev Roman Viktorovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technical Service, Chuvash State Agrarian University, 428003, Cheboksary, K. Marx str., 29; e-mail: rv\_andreev@mail.ru, tel. 8-927-858-60-82;
3. **Alekseev Evgeniy Petrovich**, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Transport and Technological Machines and Complexes, Chuvash State Agrarian University, 428003, Cheboksary, K. Marx str., 29; e-mail: zhenia\_alexeev@mail.ru, tel. 8-919-650-94-97;
4. **Smirnov Mikhail Petrovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Transport and Technological Machines and Complexes, Chuvash State Agrarian University, 428003, Cheboksary, K. Marx str., 29; e-mail: sttmo@yandex.ru, tel. 8-927-852-23-78;
5. **Nikitin Vadim Sergeevich**, postgraduate student of the Department of Transport and Technological Machines and Complexes, Chuvash State Agrarian University, 428003, Cheboksary, K. Marx str., 29; e-mail: vadimka-nikitin-1997@mail.ru, tel. 8-937-399-80-52.

УДК 621.436.73; 62-665.9; 662.761

DOI: 10.17022/33yp-by76

### **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

**А. Н. Коротков, А. В. Палицын, Ю. А. Плотникова**

*Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина  
160555, г. Вологда, с. Молочное, Российская Федерация*

**Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы функционирования ДВС электростанции, работающей на различных видах топлива, в том числе альтернативных. Был проведен анализ основных эксплуатационных характеристик работы двухцилиндрового ДВС 2Ч 7,2/6,0 электростанции АБ-4-О/230-М1, который работает с использованием многотопливного цикла. Были рассмотрены эксплуатационные и экологические характеристики ДВС, работающего на жидком моторном топливе – бензине АИ-92, газообразном моторном топливе пропан-бутановой смеси и альтернативном топливе – генераторном газе, произведенном из сельскохозяйственных отходов в экспериментальной газогенераторной установке. Применение газообразного топлива позволяет снизить токсичность выхлопных газов ДВС. Перевод ДВС с бензина на пропан снижает содержание монооксида углерода в выхлопных газах в 20 раз, а не прореагировавших углеводородов топлива – в 1,143 раза. При работе ДВС на генераторном газе, по сравнению с бензином, содержание в выхлопных газах монооксида углерода уменьшается в 6,6...10 раз, не прореагировавших углеводородов топлива – в 1,33...4 раза, но при этом возрастает содержание диоксида углерода в 1,27...1,32 раза. Эксплуатация ДВС электростанции с использованием генераторного газа позволяет достигать получения до 72,5...80 % номинальной электрической мощности электрогенератора. Применение в качестве альтернативного моторного топлива генераторного газа в двухцилиндровом ДВС электростанции, по сравнению с бензином, ведет к снижению частоты производимого переменного тока из-за снижения частоты вращения ротора электрогенератора на 6,3 %. В качестве потребителей электрической энергии, произведенной электростанцией, работающей на генераторном газе,

могут быть потребители, не критичные к частотным характеристикам электрической энергии: источники вторичного электропитания, резистивные элементы и т.д.

**Ключевые слова:** альтернативное топливо, генераторный газ, сельскохозяйственные отходы, электростанция, двигатель внутреннего сгорания.

**Введение.** На всех этапах производства сельскохозяйственной продукции появляются отходы, которые являются неотъемлемой частью технологического процесса. Проблема энергетической переработки сельскохозяйственных отходов, вовлечение их в технологические циклы производства в настоящее время достаточно актуальна в свете ужесточения требований природоохранного законодательства и мировых тенденций по снижению энергетических издержек производства. Для её решения эксперты рассматривают несколько перспективных направлений исследований: снижение отходоёмкости технологического процесса производства на единицу основного сельскохозяйственного продукта за счет применения инновационных технологий, а также – рециклинготходов [1], [2], [3], [5], [6], [7], [9], [10].

Снижение количества производственных отходов имеет свои границы, которые определяются уровнем используемых при производстве технологий и экономической целесообразностью. К границам снижения отходоёмкости технологического процесса производства товаропроизводители, применяющие современные производственные технологии, приблизились уже вплотную. Вследствие этого, энергетические технологии по переработке отходов, позволяющие производить энергию и создавать новые коммерческие продукты, представляют практический интерес.

Цель проведенного исследования – сравнительный анализ экологических и мощностных характеристик ДВС с искровым зажиганием электростанции, работающей на различных видах моторного топлива, в том числе полученного из сельскохозяйственных отходов [4], [6]. Термическая переработка сельскохозяйственных отходов в газообразное топливо для ДВС осуществлялась экспериментальным путем в газогенераторе с элементами параметрического управления процессом газификации [8].

**Результаты исследований и их обсуждение.** Применение инновационных газогенераторных технологий позволяет не только утилизировать отходы сельскохозяйственного производства, но и осуществлять их энергетическую переработку. Это помогает не только избавиться от отходов экологически чистым способом, но и получить новые товарные продукты: тепловую энергию, газообразное топливо для теплогенераторов и ДВС, электрическую энергию, концентрированное минеральное удобрение (золу) [1], [2], [3], [4], [6].

В экспериментах, направленных на изучение многотопливного цикла работы, использовался двухцилиндровый ДВС 2Ч 7,2/6,0 электростанции АБ-4-О/230-М1. Эксплуатация осуществлялась с применением бензина АИ-92, сжиженного природного газа (летняя пропан-бутановая смесь 50/50) и генераторного газа, полученного в экспериментальном газогенераторе из различного исходного сырья.

Эксперименты показали, что современные ДВС электростанций удовлетворительно работают без модернизации систем питания и зажигания как на традиционных, так и на альтернативных видах топлива. Но перевод ДВС с товарного на альтернативное топливо приводит к существенному падению мощности ДВС, которое на некоторых видах альтернативного топлива достигает 60 % [4], [6]. Во время экспериментов при работе ДВС электростанции на различных видах топлива применялся многотопливный карбюратор 188F-СУГ, дооборудованный смесителем для генераторного газа, и осуществлялась корректировка угла опережения зажигания (УОЗ).

Таблица 1 – Основные эксплуатационные характеристики ДВС 2Ч 7,2/6,0 электростанции АБ-4-О/230-М1 при работе на различных видах топлива

Вид топлива	Электрическая мощность нагрузки, кВт	УОЗ - угол опережения зажигания ДВС, градус	Компоненты отработавших газов ДВС				
			С О , %	С <sub>м</sub> Н <sub>п</sub> , pp m	С О <sub>2</sub> , %	О 2, %	La mb
Бензин АИ -92	4	33	0,8	56	13,24	1,3	1,042
Пропан – бутан (летняя) смесь	4	35	0,4	49	11,08	2,9	1,154
Генераторный газ из березовог	2,9	38	0,12	42	17,44	1,5	1,062

о угля							
Генераторный газ из березовых кубиков	3,2	38	0,08	14	16,9	2,85	1,12
Генераторный газ из березового угля и навоза КРС	3	38	0,96	14	16,72	2,7	1,088
Генераторный газ из навоза КРС	2,7	38	0,08	35	14,42	5,05	1,246

Состав выхлопных газов контролировался газоанализатором «ИНФРАКАР М1.Т.01». Для получения значений токсичности выхлопных газов ДВС производилась выборка показателей во время 10 минутного временного интервала при установившемся нагрузочном режиме с дискретностью в 30 с. Для получения среднего значения выборки применялась функция медианы. Электрическая мощность, отдаваемая в нагрузку, контролировалась электроизмерительными клещами – ваттметром АРРА-133. Частота вращения ротора электрогенератора контролировалась по оптическому тахометру ДО-03-02. Основные эксплуатационные характеристики ДВС 2Ч 7,2/6,0 представлены в таблице 1.

Общий вид электростанции, работающей совместно с газогенераторной установкой, представлен на рисунке 1.



Рис. 1. Загрузка в газогенератор навоза КРС

**Выводы.** Анализ эксплуатационных характеристик ДВС2Ч 7,2/6,0 электростанции АБ-4-О/230-М1 позволяет сделать вывод, что применение газообразного топлива позволяет снизить токсичность выхлопных газов ДВС. Перевод ДВС с бензина на пропан снижает содержание монооксида углерода в выхлопных газах в 20 раз, а не прореагировавших углеводородов топлива – в 1,143 раза. При работе ДВС на генераторном газе, по сравнению с бензином, содержание в выхлопных газах монооксида углерода снижается в 6,6...10 раз, не прореагировавших углеводородов топлива – в 1,33...4 раза, но при этом увеличивается содержание диоксида углерода в 1,27...1,32 раза.

Следует отметить, что эксплуатация ДВС, работающего на генераторном газе, позволяет получать у электрогенератора 72,5...80 % его номинальной электрической мощности.

Применение в качестве альтернативного моторного топлива генераторного газа в двухцилиндровом ДВС электростанции, по сравнению с бензином, приводит к снижению частоты производимого переменного тока из-за уменьшения частоты вращения ротора электрогенератора на 6,3 %. В качестве потребителей электрической энергии, произведенной электростанцией на генераторном газе, могут быть потребители, не критичные к частотным характеристикам электрической энергии: источники вторичного электропитания, резистивные элементы и т.д.

#### Литература

1. Алешина, А. С. Газификация твердого топлива / А.С. Алешина, В. В. Сергеев. – Санкт-Петербург: изд-во политехнического университета, 2010. – 202 с.
2. Балтиков, Д. Ф. Разработка энергетического комплекса для молочно-товарной фермы: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Д. Ф. Балтиков. – Уфа, 2018. – 153 с.
3. Габитов, И. И. Газогенераторная установка для технологических процессов в сельскохозяйственном производстве / И. И. Габитов, В. А. Ильин, У. К. Галимов // Известия Международной академии аграрного образования. – 2013. – Т. 4. – № 16. – С. 199.
4. Зубакин, А. С. Использование генераторного газа в качестве моторного топлива для искровых ДВС // Общество. Наука. Инновации (НПК-2019). – Вологда: Вятский ГУ. 2019. – С. 125-131.
5. Киприянов, Ф. А. Исследование работы газогенератора / Ф. А. Киприянов // Современные научные исследования и инновации. – 2016. – № 1 (57). – С. 146-152.
6. Коротков, А. Н. Совершенствование конструкции и оптимизация конструктивно-технологических параметров газогенераторной установки: научно-квалификационная работа на соискание степени «Исследователь. Преподаватель-исследователь» / А. Н. Коротков. – Вологда-Молочное, 2018. – 132 с.

7. Лагунов, С. Газогенератор своими руками / С. Лагунов. – Текст: электронный. – URL: <http://benz.lagunof.com/book/book.pdf> (дата обращения 20.07.2020).
8. Пат. Российская Федерация. № 2555486. С10J3/20 (2006.01). Газогенератор / Острецов В. Н., Зубакин А. С., Палицын А. В., Коротков А. Н.; заявитель и патентообладатель Палицын А. В. – № 2013132317; заявл. 11.07.2013; опубл. 10.07.2015, Бюл. № 19. – 2 с.
9. Coal and Biomass Gasification. Recent Advances and Future Challenges / De Santanu, Kumar Agarwal Avnash, V. S. Moholkar [et al.] // Springer Nature Singapore Pte Ltd. – Текст: электронный. – URL: <https://doi.org/10.1007/978-981-10-7335-9> (дата обращения 20.07.2020).
10. Gasifier Experimenters Kit. – Текст: электронный // All power labs: [сайт]. – URL: [www.gekgasifier.com](http://www.gekgasifier.com) (дата обращения 20.07.2020).

#### Сведения об авторах

1. **Коротков Александр Николаевич**, старший преподаватель кафедры энергетических средств и технического сервиса, Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина, 160555, Российская Федерация, г. Вологда, с. Молочное, ул. Шмидта, д. 2; e-mail: mechfac@yandex.ru, тел. 8(8172)525603;
2. **Палицын Андрей Владимирович**, кандидат технических наук, доцент энергетических средств и технического сервиса, Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н. В. Верещагина, 160555, Российская Федерация, г. Вологда, с. Молочное, ул. Шмидта, д. 2; e-mail: mechfac@yandex.ru, тел. 8(8172)525603;
3. **Плотникова Юлия Александровна**, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры технические системы в агробизнесе, Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина, 160555, Российская Федерация, г. Вологда, с. Молочное, ул. Шмидта, д. 2; e-mail: japltnikova@yandex.ru, тел. 8(8172)525603.

#### EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF ALTERNATIVE FUELS IN THE OPERATION OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE OF POWER PLANTS

**A. N. Korotkov, A. V. Palitsyn, Yu. A. Plotnikova**

*Vologda State Dairy Farming Academy named after N.V. Vereshchagin  
160555, Vologda, Molochnoe, Russian Federation*

**Abstract.** *The article deals with the functioning of the internal combustion engine (ICE) of a power plant operating on various types of fuel, including alternative ones. The analysis of the main operational characteristics of the operation of the two-cylinder ICE 2Ch 7.2 / 6.0 of the AB-4-O / 230-M1 power plant, which operates using a multi-fuel cycle, was carried out. The operational and environmental characteristics of an internal combustion engine operating on liquid motor fuel - AI-92 gasoline, gaseous motor fuel of a propane-butane mixture and an alternative fuel - generator gas produced from agricultural waste in an experimental gas generator plant were considered. The use of gaseous fuel can reduce the toxicity of the exhaust gases of the internal combustion engine. The conversion of the internal combustion engine from gasoline to propane reduces the content of carbon monoxide in the exhaust gases by 20 times, and the content of non-reacted fuel hydrocarbons by 1.143 times. When the internal combustion engine is running on generator gas, in comparison with gasoline, the content of carbon monoxide in the exhaust gases decreases 6.6 ... 10 times, unreacted fuel hydrocarbons - 1.33 ... 4 times, but this will increase the content of carbon dioxide by 1, 27 ... 1.32 times. The operation of the internal combustion engine of the power plant with the use of generator gas makes it possible to obtain up to 72.5 ... 80% of the nominal electric power of the electric generator. The use of generator gas as an alternative motor fuel in a two-cylinder internal combustion engine of a power plant, in comparison with gasoline, leads to a decrease in the frequency of the produced alternating current due to a decrease in the rotor speed of the generator by 6.3%. Consumers who are not critical to the frequency characteristics of electrical energy can be consumers of electrical energy produced by a power plant operating on generator gas: secondary power sources, resistive elements, etc.*

**Key words:** *alternative fuel, generator gas, agricultural waste, power plant, internal combustion engine.*

#### References

1. Aleshina, A. S. Gazifikaciya tverdogo topliva / A.S. Aleshina, V. V. Sergeev. – Sankt-Peterburg: izd-vo politekhnicheskogo universiteta, 2010. – 202 s.
2. Baltikov, D. F. Razrabotka energeticheskogo kompleksa dlya molochno-tovarnoj fermu: dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk / D. F. Baltikov. – Ufa, 2018. – 153 s.
3. Gabitov, I. I. Gazogeneratornaya ustanovka dlya tekhnologicheskikh processov v sel'skohozyajstvennom proizvodstve / I. I. Gabitov, V. A. Il'in, U. K. Galimov // Izvestiya Mezhdunarodnoj akademii agrarnogo obrazovaniya. – 2013. – T. 4. – № 16. – S. 199.

4. Zubakin, A. S. Ispol'zovanie generatornogo gaza v kachestve motornogo topliva dlya iskrovyyh DVS // Obshchestvo. Nauka. Innovacii (NPK-2019). –Vologda: Vyatskij GU. 2019. – S. 125-131.
5. Kipriyanov, F. A. Issledovanie raboty gazogeneratora / F. A. Kipriyanov // Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovacii. – 2016. – № 1 (57). – S. 146-152.
6. Korotkov, A. N. Sovershenstvovanie konstrukcii i optimizaciya konstruktivno-tekhnologicheskikh parametrov gazogeneratornoj ustanovki: nauchno-kvalifikacionnaya rabota na soiskanie stepeni «Issledovatel'. Prepodavatel'-issledovatel'» / A. N. Korotkov. – Vologda-Molochnoe, 2018. – 132 s.
7. Lagunov, S. Gazogenerator svoimi rukami / S. Lagunov. –Tekst: elektronnyj. – URL: <http://benz.lagunof.com/book/book.pdf> (data obrashcheniya 20.07.2020).
8. Pat. Rossijskaya Federaciya. № 2555486. S10J3/20 (2006.01). Gazogenerator / Ostrecov V. N., Zubakin A. S., Palicyn A. V., Korotkov A. N.; zayavitel' i patentoobladatel' Palicyn A. V. – № 2013132317; zayavl. 11.07.2013; opubl. 10.07.2015, Byul. № 19. – 2 s.
9. Coal and Biomass Gasification. Recent Advances and Future Challenges / De Santanu, Kumar Agarwal Avnash, V. S. Moholkar [et al.] // Springer Nature Singapore Pte Ltd. – Tekst: elektronnyj. – URL: <https://doi.org/10.1007/978-981-10-7335-9> (data obrashcheniya 20.07.2020).
10. Gasifier Experimenters Kit. – Tekst: elektronnyj // All power labs: [sajt]. – URL: [www.gekgasifier.com](http://www.gekgasifier.com) (data obrashcheniya 20.07.2020).

#### **Information about authors**

1. **Korotkov Alexander Nikolaevich**, Senior Lecturer of the Department of Energy Resources and Technical Service, Vologda State Dairy Academy named after N.V. Vereshchagin, 160555, Russian Federation, Vologda, Molochnoe, Schmidt str., 2; e-mail: mechfac@yandex.ru, tel. 8 (8172) 525603;

2. **Palitsyn Andrey Vladimirovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Energy Resources and Technical Service, Vologda State Dairy Academy named after N.V. Vereshchagin, 160555, Russian Federation, Vologda, Molochnoe, Schmidt str., 2; e-mail: mechfac@yandex.ru, tel. 8 (8172) 525603;

3. **Plotnikova Yulia Aleksandrovna**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Technical Systems in Agribusiness, Vologda State Dairy Academy named after N.V. Vereshchagin, 160555, Russian Federation, Vologda, Molochnoe, Schmidt str., 2; e-mail: jplotnikova@yandex.ru, tel. 8 (8172) 525603.

УДК 631.363.25

DOI: 10.17022/j4jd-xz03

### **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ ЗЕРНА РОТОРНО-ЦЕНТРОБЕЖНОГО ТИПА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДИКИ ПЛАНИРОВАНИЯ МНОГОФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА**

**И. И. Иванов, Ю. А. Плотникова**

*Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н. В. Верещагина  
160555, Вологда, Российская Федерация*

**Аннотация.** В настоящее время в России активно развиваются крестьянско-фермерские хозяйства, которые стремятся снизить себестоимость продукции животноводства. В связи с этим появляется заинтересованность в освоении новых технологических приемов, использование которых позволит уменьшить энергопотребление и повысить эффективность процесса производства при сохранении высокого качества продукции.

Из общего количества фуражного зерна только половина перерабатывается в полноценные комбикорма и кормосмеси, а остальная часть скармливается в измельченном виде. Стремление повысить производительность и снизить энергозатраты приводит к получению готового продукта со значительным содержанием недоизмельченной фракции. Такой корм усваивается животными не полностью, что является причиной его перерасхода и низкой эффективности вложенных средств. В связи с этим дальнейшее совершенствование существующих конструкций измельчителей зерна и разработка новых по-прежнему остается актуальной задачей.

Проведенный обзор научно-технической и патентной литературы по исследуемой проблеме показал, что существующие измельчители зерна имеют ряд недостатков: большая металло- и энергоемкость, неравномерность гранулометрического состава измельчаемого продукта, большой процент пылевидной фракции, быстрый износ рабочих органов, нагрев продукта. Для устранения перечисленных недостатков была предложена новая конструкция измельчителя зерна роторно-центробежного типа.

При создании представленной конструкции потребовалось оптимизировать ряд конструктивных и кинематических параметров. Для решения поставленной задачи была выбрана методика многофакторного эксперимента. В качестве варьируемых на двух уровнях факторов использовались следующие: подача зернового материала, частота вращения ротора, открытие сепарирующей поверхности, число ножей на