

Determination of the Quantitative Characteristics of the Engine of a Household Power Plant when Using Generator Gas as an Alternative Fuel

Plotnikov S. A., Buzikov Sh. V., Kartashevich A. N., Zubakin A. S.

Federal state budgetary educational institution of higher professional education
"Vyatka state University"
Kirov, Russian Federation

Abstract. The relevance of the study is due to the need to study the feasibility of replacing traditional fuel with alternative types (generator gas) when using a household power plant. The purpose of the study is to obtain the value of a small-displacement engine GG-2700 with a working volume of 1563 cm³ when it works on commercial fuel (gasoline) and generator gas. For this purpose, the authors developed an experimental setup on the basis of a small-sized household power station with fixation of variable parameters on a personal computer and a graphical representation of the measurement results. The records of the indicator diagrams allowed determining the burning time of various fuels. As a result, for the first time, there were obtained quantitative indicators of fuel efficiency and toxicity of exhaust gases of the small-displacement engine GG-2700 with a working volume of 1563 cm³ when using commercial fuel (gasoline) and generator gas. The analysis of the data showed an increase in the specific consumption of generator gas in comparison with gasoline from 34.6% to 50.4% and a decrease in the content of toxic components in the exhaust gases: carbon monoxide (CO) – in 1.05 ... 1.25 times, hydrocarbons (C_xH_y) - in 1,1 ... 1,39 times, nitrogen oxides (NO_x) - in 3,9 ... 5,7 times. The obtained results prove the expediency of using generator gas as an alternative fuel for the engine of a household power plant.

Keywords: engine, power system, test bench, diesel, gaseous fuel, producer gas, alternative fuels.

Determinarea caracteristicilor cantitative a motorului unei centrale casnice la utilizarea în calitate de combustibil alternativ a gazului de generator

Plotnikov S. A., Buzikov Sh. V., Kartashevich A. N., Zubakin A. S.

Instituție Federală Bugetară de Stat de Educație de Învățământ Superior „Universitatea de Stat Viatka“
Kirov, Federația Rusă

Rezumat. Relevanța studiului este de a explora fezabilitatea înlocuirii combustibililor tradiționali cu forme alternative gazoase (gaz) la alimentarea centralelor casnice. Scopul studiului constă în obținerea indicilor de performanță a motorului GG-2700 volum micde lucru a cilindrilor (1.563 cm³) la alimentarea acestuia cu benzină și gaze generatoare. Pentru acesta s-a elaborat un sistem experimental în baza centralei electrice de uz casnic dotat cu un sistem de fixare a parametrilor variabili pe calculatorul personal și reprezentarea grafică a rezultatelor măsurătorilor. Înregistrarea diagramelor indicatorului a permis determinarea timpului de ardere diversilor combustibili. Ca rezultat, s-au obținut indicii cantitativi privind eficacitatea utilizării combustibilului și a gradului de toxicitate a gazelor eşpate a motorului cu ardere internă GG-2700 la alimentarea lui cu benzină și gaz de generator. Analiza datelor experimentale au arătat o creștere a consumului specific de gaz de generator în comparație cu benzina de la 34,6% la 50,4%, având concomitent reducerea componentelor toxice din gazele de eşapament: monoxid de carbon (CO) - 1,05 ... 1,25 ori, hidrocarburi (ShNy) - 1,1 ... 1,39 ori, oxizi de azot (NO_x) - 3,9 ... 5,7 ori. Rezultatele demonstrează utilitatea produsului gazos drept combustibil alternativ pentru motorul de putere de uz casnic.

Cuvinte-cheie: motor cu ardere internă, sistem de alimentare cu combustibil, teste la tand, benzină, combustibil gazos, gaz generator, combustibil alternativ.

Определение количественных характеристик двигателя бытовой электростанции при использовании генераторного газа в качестве альтернативного топлива

Плотников С.А., Бузиков Ш.В., Карташевич А.Н., Зубакин А.С.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вятский государственный университет»
Киров, Российская Федерация

Аннотация. Актуальность исследования обусловлена необходимостью изучения целесообразности замены традиционного топлива его альтернативными видами (генераторный газ) при эксплуатации бытовой электростанции. Целью исследования является получение показателей работы малолитражного двигателя GG-2700 рабочим объемом 1563 см³ при его эксплуатации на товарном топливе (бензине) и генераторном газе. Для этого была разработана экспериментальная установка на базе бытовой

электростанции с фиксацией изменяемых параметров на персональном компьютере и графического представления результатов измерения. Записи индикаторных диаграмм позволили определить время горения различных топлив. В результате впервые получены количественные показатели топливной экономичности и токсичности отработавших газов малолитражного двигателя GG-2700 рабочим объемом 1563 см³ при использовании товарного топлива (бензина) и генераторного газа. Анализ данных показал увеличение удельного расхода генераторного газа по сравнению с бензином с 34,6% до 50,4% и снижение содержания токсичных компонентов в отработавших газах: монооксида углерода (CO) – в 1,05...1,25 раза, углеводородов (C_xH_y) – в 1,1...1,39 раза, оксидов азота (NO_x) – в 3,9...5,7 раза. Полученные результаты доказывают целесообразность использования генераторного газа в качестве альтернативного топлива для двигателя бытовой электростанции.

Ключевые слова: двигатель, система питания, стендовые испытания, бензин, газообразное топливо, генераторный газ, альтернативное топливо.

Введение

В средствах массовой информации с регулярностью объявляют о новинках в сфере альтернативной энергетики. Особенно часто это происходит на фоне очередного мирового энергетического кризиса. Один из перспективных способов получения электроэнергии - работа электростанции на генераторном газе [1-10]. Генераторный газ - это газовая смесь, состоящая из оксида углерода CO и молекулярного водорода H₂ (горючих продуктов), а также балласта – азота N₂ и углекислого газа CO₂. Эта смесь образуется в результате процесса газификации твердого топлива. Процесс получения генераторного газа из древесного сырья заключается в сухой перегонке, при котором выделяются летучие соединения, содержащиеся в топливе [5].

Полученный генераторный газ может быть использован в качестве альтернативного топлива, как в дизельных, так и в искровых двигателях внутреннего сгорания [11, 12].

Отмечено что при сгорании генераторного газа наблюдается снижение эмиссии вредных веществ в атмосферный воздух [13], а также мощности двигателя в диапазоне от 40% до 70% что, в свою очередь, снижает его привлекательность с точки зрения альтернативного источника энергии [14, 15].

Ряд проведенных исследований [6, 7, 16] показал, что при использовании в дизельном двигателе двойной системы топливоподачи, а именно, подачи дизельного топлива в качестве запальной порции в топливоздушную смесь, состоящую из воздуха и генераторного газа, снижение значений эксплуатационных показателей составляет 20-30%, а экономия дизельного топлива 70-90%.

Применение генераторного газа в трёхцилиндровом дизеле с двойной системой топливоподачи электростанции мощностью 11,44 кВт привело к экономии традиционного топлива до 81% [17]. Также часть авторов отмечает, что использование газа в дизеле достаточно негативно отражается на его эксплуатационных показателях. Это в свою очередь связано с тем, что у газа достаточно низкое цетановое число по сравнению с дизельным топливом [18].

В работе [19] изучено влияние различных соотношений традиционного топлива и генераторного газа, подаваемого на впуске в искровом двигателе. Результаты показателей процесса сгорания топливоздушной смеси в зависимости от их соотношения оказались удовлетворительными. Исследования [20-25] показали, что при использовании газа в двигателях наблюдается снижение концентрации оксидов азота NO_x и сажи С, а также эффективного коэффициента полезного действия, в сравнении с работой на традиционном топливе (бензине).

Проведенный анализ исследований свидетельствует о том, что замена традиционного топлива (бензина) в искровом двигателе, используемом в бытовых электростанциях для выработки электрической энергии, генераторным газом, является на сегодня достаточно перспективным направлением.

I. ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проводимые исследования ставили собой цель определить количественные характеристики двигателя бытовой электростанции при использовании генераторного газа в качестве альтернативного топлива.

II. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для исследования работы ДВС на генераторном газе использовалась бытовая электростанция GG-2700, номинальной электрической мощностью 2 кВт. Стандартная система питания и зажигания, предназначенная для работы на товарном моторном топливе (бензине) изменению не подвергалась. Стандартный угол опережения зажигания составлял 26° до ВМТ [11, 14].

Оценка мощностных и экологических характеристик электростанции при работе на товарном и альтернативном видах топлива, при различных режимах загрузки осуществлялась согласно рекомендациям ГОСТа Р 53639-2009. Электрическая мощность измерялась ваттметром АРРА-133, а выбросы вредных веществ с ОГ газоанализатором МЕТА АВТОТЕСТ 02.03П. Расход топлива контролировался весовым методом, электронными весами DigitalComputingScale-5CS. Температура ОГ измерялась мультиметром М890G, с выносной термопарой. Время проведения опыта фиксировалось электронным таймером. В качестве нагрузки был использован ламповый реостат, мощностью 2,4 кВт, состоящий из 12 ламп накаливания. Расходы воздуха и газа определялись с помощью датчиков, определяющих скорость потоков воздуха и газа с последующим пересчетом их в объём.

Оценка эффективности работы ДВС на товарном и генераторном моторном топливах осуществлялась методом прямого индицирования [14].

Предварительные исследования показали, что применение форсажного контура с избыточным давлением на входе в газогенератор позволяет уменьшить время переходных процессов ДВС при изменении нагрузки. При этом качественный состав генераторного газа ухудшается на переходных режимах работы газогенератора за счет возрастания процентного содержания CO_2 в газовой смеси. Влияние оказывает установленная между двигателем и газогенератором система очистки и охлаждения газа, сопротивление на отдельных участках которой составляет от 30 до 150 мм водяного столба. При подаче избыточного давления на вход газогенератора, реакционная зона

газогенератора оказывается под избыточным давлением, так как давлению на входе препятствует сопротивление системы очистки и охлаждения. Избыток O_2 способствует частичному окислению произведенного генераторного газа до CO_2 .

В качестве наиболее оптимального решения был применен синтез технологий параметрического (плоскостного или объемного) управления газогенератором с системой форсажного контура, расположенного между ДВС и системой очистки и охлаждения газа, а не между атмосферой и газогенератором.

На рисунке 1 показана схема предлагаемой установки. Установка, работающая совместно с ДВС, содержит:

- Газогенератор, состоящий из: воздушного коллектора 1, цилиндрической камеры газификации 2, загрузочного люка с запорным механизмом 3, системы электромагнитных клапанов 4, газоотводного патрубка 5, воздухоподводящих трубок 6, газового резервуара 7, термоизоляционного футляра 8, внешнего защитного кожуха 9, фурменного пояса 10, зольниковой решетки 11, зольникового люка 12, опор 13, технологического люка 14;

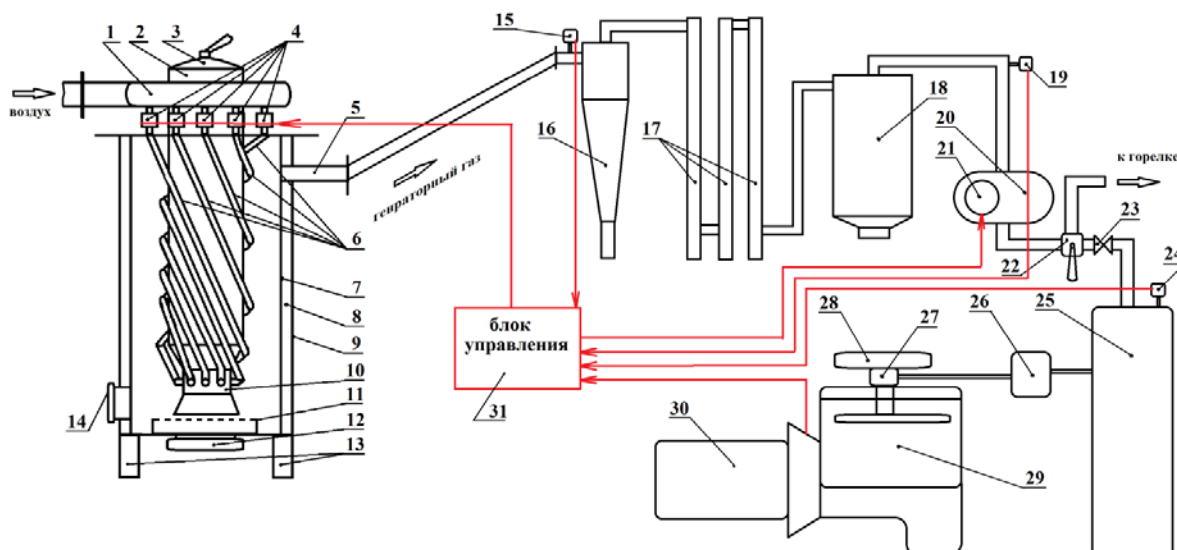
- Систему очистки и охлаждения генераторного газа, состоящую из: датчика разряжения 15, фильтра грубой очистки газа 16, конденсатора – охладителя газа 17, фильтра тонкой очистки газа 18, датчика разряжения 19;

- Компенсационную систему, состоящую из: роторного нагнетателя 20, приводного электродвигателя 21, переключателя направления потока газа 22, обратного газового клапана 23, датчика давления 24, ресивера для промежуточного хранения генераторного газа под избыточным давлением 25;

- Систему питания ДВС, состоящую из: газового редуктора с элементами защиты и управления 26, смесителя 27, воздушного фильтра 28;

- ДВС 29, электрогенератор 30 и блок управления 31.

Состав получаемого генераторного газа, используемого в качестве альтернативного топлива в экспериментальных исследованиях представлен в таблице 1.



1 – воздушный коллектор; 2 – камера газификации; 3 – загрузочный люк; 4 – система электромагнитных клапанов; 5 – газоотводный патрубок; 6 – воздухоподводящие трубки; 7 – газовый резервуар; 8 – термоизоляционный футляр; 9 – внешний защитный кожух; 10 – фурменный пояс; 11 – зольниковая решётка; 12 – зольниковый люк; 13 – опоры; 14 – технологический люк; 15 – датчик разряжения; 16 – фильтр грубой очистки газа; 17 – конденсатор – охладитель газа; 18 – фильтр тонкой очистки газа; 19 – датчик разряжения; 20 – роторный нагнетатель; 21 – приводной электродвигатель; 22 – переключатель направления потока газа; 23 – обратный газовый клапан; 24 – датчик давления; 25 – ресивер для промежуточного хранения генераторного газа под избыточным давлением; 26 – газовый редуктор; 27 – смеситель; 28 – воздушный фильтр; 29 – двигатель внутреннего сгорания; 30 – бытовая электростанция GG-2700; 31 – блок управления.

Рис. 1. Схема газогенераторной установки, работающей совместно с ДВС.

Таблица 1

Состав генераторного газа

Вид топлива	Состав газа, %						Нижшая теплотворность, МДж		λ теоретическое, $\text{м}^3/\text{м}^3$	Расход воздуха для образования 1 м^3 (в м^3)	Выход сухого газа на 1 кг рабочего топлива (в м^3)
	CO	H ₂	CH ₄	CO ₂	O ₂	N	газа	смеси			
Древесные чурки	18-22	13-18	2,5-3,5	8-12	0,1-0,2	48-55	4,2-5,76	2,3-2,6	0,95-0,7	0,60-0,70	2,53-1,97
Древесный уголь	30,3	7	2	3,2	0,2	57,2	5,3	2,57	1,07	0,72	3,62

III. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам исследований рабочего процесса были получены индикаторные диаграммы двигателя при частоте вращения коленчатого вала $n=3000 \text{ мин}^{-1}$ и нагрузке, близкой к номинальному значению, а также

мощностные, эффективные и показатели токсичности отработавших газов (ОГ) [14].

В случае применения генераторного газа максимальное давление цикла P_z снижается на 35,6%.

На индикаторных диаграммах также видно смещение точки максимального давления по углу поворота коленчатого вала ДВС от 19

градусов после ВМТ при работе на бензине до 31 градуса после ВМТ при работе на газе. Это связано с низкой скоростью сгорания топлива и относительно поздним углом опережения зажигания по сравнению с оптимальным значением.

Опыты показали возможность работы двигателя электростанции на генераторном газе без значительной доработки системы питания и зажигания. Причиной является

повышенная мощность двигателя привода генератора. Двигатель развивает 4,8 кВт при 5200 мин⁻¹, частота вращения коленчатого вала и статора генератора равна 3000 мин⁻¹ при значении выходной мощности 2,9 кВт.

Данные работы ДВС электростанции на различных видах топлива представлены в таблице 2.

Таблица 2

Параметры работы ДВС электростанции на различных видах топлива.

Работа ДВС на бензине								
1	Мощность активной нагрузки, кВт	0	0,391	0,789	1,234	1,582	1,985	2,225
2	CO, %, об.	2,48	2,67	2,73	3,94	3,04	0,61	0,73
3	CH, млн ⁻¹	194	191	218	323	212	135	117
4	CO ₂ , %, об.	1,99	2,27	2,49	2,22	3,09	5,28	5,8
5	NO _x , %, об.	0	33	140	327	575	991	1540
6	Температура масла (°C)	56	60	63	64	69	80	89
7	Температура ОГ (°C)	639	598	572	539	565	594	611
8	Удельный расход топлива, г/кВт×ч	-	1580	930	850	640	440	410
Работа ДВС на генераторном газе								
1	Мощность активной нагрузки, кВт	0	0,404	0,84	1,244	1,569	1,826	
2	CO, %, об.	1,48	1,39	1,12	0,84	0,54	0,5	
3	CH, млн ⁻¹	274	369	298	232	166	138	
4	CO ₂ , %, об.	2,38	2,69	3,23	3,28	4,21	4,72	
5	NO _x , %, об.	0	26	48	83	106	228	
6	Температура масла (°C)	58	59	59	61	65	74	
7	Температура ОГ (°C)	656	620	626	581	607	622	
8	Удельный расход топлива, г/кВт×ч	-	2390	1240	1140	900	840	

Экономическая целесообразность перевода на генераторный газ мобильных электростанций обуславливается низкой стоимостью выработанной электроэнергии и доступностью сырья для получения генераторного газа.

Выводы

1. Впервые получены количественные показатели топливной экономичности и токсичности малолитражного двигателя

GG-2700 рабочим объемом 1563 см³ при использовании генераторного газа.

2. Конструкции одноцилиндровых четырехтактных ДВС современных бытовых электростанций допускают работу на генераторном газе без доработки системы питания и зажигания. При этом выходная электрическая мощность электростанции снижается на 53,9%.

3. Удельный эффективный расход генераторного газа в сравнении с работой на бензине увеличивается от 34,6% до 50,4%. Данное обстоятельство объясняется

неоптимальным значением угла опережения зажигания ДВС для работы на генераторном газе и более низкой энергетической ценностью газа.

4. Работа ДВС на генераторном газе сопровождается увеличением времени горения топливного заряда и ростом температуры ОГ на 15...30 градусов.

5. Работа ДВС на генераторном газе, сопровождается снижением содержания токсичных компонентов в ОГ: CO - в 1,05...1,25 раза; C_xH_y - в 1,1...1,39 раза; NO_x - в 3,9...5,7 раза.

6. При работе ДВС на генераторном газе возрастает содержание диоксида углерода CO₂ в ОГ от 1,47 до 1,73 раза. Это обуславливается снижением значения максимального давления цикла, а также наличием в структуре генераторного газа химически связанного кислорода.

Литература (References)

- [1] Perederiy S. Innovatsionnaya tehnologiya gazifikatsii drevesiny [Innovative technology of wood gasification] *LesPromInform – Russian Forestry Review*, 2013, no. 5, pp. 146-149. (in Russian) Available at: <http://lesprominform.com/jarchive/main/year/2013> (accessed 08.06.2017)
- [2] Pystuylnik P. Perspektivy razvitiy bioenergetiki [Prospects of bioenergy development] *LesPromInform – Russian Forestry Review*, 2010, no. 7, pp. 154-157. (in Russian) Available at: <http://www.lesprominform.ru/jarchive/articles/itemprint/2070> (accessed 08.06.2017)
- [3] Dasappa S., Sridhar H.V. Performance of diesel engine in a dual fuel mode using procedure gas for electricity power generation. *International Journal of Sustainable Energy*, 2013, vol. 32, no.3, pp. 153–168. <http://dx.doi.org/10.1080/14786451.2011.605945> (accessed 08.06.2017).
- [4] Vyarawalla, F., Parikh P.P., Dak C.H., Jain C.B. *Utilization of Biomass for Motive Power Generation: Gasifier Engine System. Biomass 3*. 1984, pp. 227–242.
- [5] Ghosh S., Das T.K., Jash T., *Sustainability of decentralized wood fuel-based power plant: an experience in India*. Energy, 2004, pp 155–166.
- [6] Ramadhas A.S., Jayaraj, S. Muraleedharan C. *Power generation using pith and wood derived producer gas in diesel engines*. International Journal of Fuel Processing Technology, 2006, pp. 849–853.
- [7] Uma R., Kandpal C.T., Kishore N.V. *Emission Characteristics Electricity Generation System in Diesel Alone and Dual Fuel Modes*. Biomass and Bioenergy, 2004, pp. 195–203.
- [8] Sridhar G., Sridhar H.V., Dasappa S., Paul P.J., Rajan N.K., Mukunda H.S. Development of Producer Gas Engines. *Combustion Gasification and Propulsion Laboratory. Department of Aerospace Engineering, Indian Institute of Science, Bangalore, India*, vol. 219 no. 3, pp. 423-438 <http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1243/095440705X6596> (accessed 08.06.2017).
- [9] Sonaton, G., Das T.K., Jash T. *Sustainability of Decentralized Wood Fuel-Based Power Plant: An Experience in India*. Energy, 2004, pp. 155–166.
- [10] A small-scale biomass electrical generator Gasifier Experimenters Kit (the GEK). Available at: <http://www.allpowerlabs.com/products/gasifier-kits> (accessed 08.06.2017), (accessed 08.06.2017).
- [11] Beresnev M.A. Algoritm rascheta ugla operegeniya zagiganiya dlya dostigeniya maksimalnogo davleniya v cilindre dvigateliya vnutrennego sgoraniya v celevom diapozone [The algorithm for calculating the ignition timing for maximum cylinder pressure of the internal combustion engine in the target range]. *Izvestiya YUFU., Tehnicheskie Nauki - IZVESTIYA SFedU. Engineering Sciences*, 2010, no.3, pp. 232-240. (In Russian).
- [12] Nwafor O.M. *Effect of Choice of Pilot Fuel on the Performance of Natural Gas in Diesel Engine*. Renewable Energy, 2000, pp. 495–504.
- [13] Henham A., Makkar M.K. *Combustion of Simulated Biogas in a Dual-Fuel Diesel Engine*. Energy Conversion Management, 1998, pp. 2001–2009.
- [14] Guskov V.F., Sukhov S.P., Kozlov S.A. Rezultaty issledovaniya tsikla dvigatelya, rabotayuschego na generatornom gaze [The Results of the Investigation Of The Cycle of the Engine Working on the Generator Gas]. *Uspekhi Estesvennykh Nauk – Advances in Current Natural Sciences*, 2012, no. 6, pp. 27-28. (In Russian).
- [15] Parikh, P.P., Bhave A.G., Kapse D.V., Karinka S. *Study of Thermal and Emission Performance of Small Gasifier Dual Fuel Engine System*. Biomass, 1989, pp. 75–97.
- [16] Kiprianov F.A., Rassvetalov A.S., Dunaev V.S. Parametricheskiy gazogenerator s obyiomnuym regulirovaniem processa gazifikatsii [Parametric gasifier with variable volume in the gasification process]. *Molochnohozeastvennyi Vestnik – [Dairy Farming Journal]*, 2014, no. 4, pp. 84–89. (In Russian).
- [17] Bhattacharya S.C., Hla S.S., Pham H.L. *A Study on a Multi-Stage Hybrid Gasifier Engine System*. Biomass and Bioenergy, 2001, pp. 445–460.

- [18] Przybyła G., Ziołkowski Ł., Szleńk A. *Performance of SI engine fueled with LCV gas*. BIOGASTECH. TUBITAK. Marmara Research Center. Gebze Campus, 2008, no. 9, pp. 47-51.
- [19] Haggith D., Sobiesiak A., Miller L., Przybyła G. *Experimental indicated performance of a HCCI engine fueled by simulated biomass gas*. SAE International Technical Paper, 2010, pp. 182-186.
- [20] Kirubakaran V., Sivaramkrishnan V., Nalini R., Sekar T., Premalatha M., Subramanian P. *A review on gasification of biomass*. Renew Sustain Energy Rev, 2009, pp. 179-186.
- [21] Zhao F, Asmus T, Assanis D, Dec J, Eng J, Najt P. *Homogenous charge compression ignition (HCCI) engines; key research and development issues*. SAE International, 2003, pp 147-151.
- [22] Urishihara T, Hiraya K, Kakuhou A, Itoh T. *Expansion of HCCI operating region by the combination of direct fuel injection, negative valve overlap and internal fuel reformation*. SAE Technical Paper, 2003, pp. 191-196.
- [23] Gnanam G, Haggith D, Sobiesiak A. *A novel in cylinder fuel reformation approach to control HCCI engine combustion on-set*. PTNSS-2009-SS3-C145 Combust Engines, 2009, pp. 37-48.
- [24] Shudo T, Hamada H. *Hydrogen as an ignition-controlling agent for HCCI combustion engine by suppressing the low-temperature oxidation*. Int J Hydrogen Energy, 2007, pp. 3066-3072.
- [25] Achilles M., Ulfvik J., Tuner A.M., Johansson B., Ahrenfeldt J., Henriksen U., Schauer F.X. *HCCI Gas Engine: Evaluation of Engine Performance, Efficiency and Emissions-Comparing. Producer Gas and Natural Gas*. SAE Technical paper, 2011, pp. 191-196.

Сведения об авторах.



Плотников Сергей Александрович. Вятский государственный университет, д-р технических наук, профессор. Основное направление исследований: применение альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания.
E-mail: PlotnikovSA@bk.ru



Карташевич Анатолий Николаевич. Вятский государственный университет, кафедра Технологии машиностроения, д-р технических наук, научный сотрудник. Основное направление исследований: применение альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания.
E-mail: kancel@baa.by



Бузиков Шамиль Викторович. Вятский государственный университет. Основное направление исследований: применение альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания.
E-mail: shamilvb@mail.ru



Зубакин Алексей Сергеевич. Вятский государственный университет. Основное направление исследований: Повышение энергоэффективности, качества функционирования и развития систем электроснабжения.
E-mail: usr10012@vyatsu.ru