

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЖИЖЕННОГО УГЛЕВОДОРОДНОГО ГАЗА В КАЧЕСТВЕ МОТОРНОГО ТОПЛИВА С ВОСПЛАМЕНЕНИЕМ ОТ ЗАПАЛЬНОЙ ДОЗЫ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

С.Ю. Уютов

s_ujutov@mail.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва,

Российская Федерация

Аннотация

Проведены исследования на тормозном стендовом оборудовании дизельного двигателя Д-243 Минского моторного завода. Испытаниям подвергли систему подачи газа отечественного производства и компании Lovato. Исследования показали, что замещение дизельного топлива сжиженным углеводородным газом достигает высокого значения.

Ключевые слова

Газомоторное топливо, сжиженный природный газ, компримированный природный газ, сжиженный углеводородный газ, топливный насос высокого давления, дизельное топливо

Поступила в редакцию 26.10.2017

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017

В настоящее время широкое использование газомоторного топлива для автотракторной техники сдерживается значительными капитальными затратами на создание газозаправочных комплексов. Мощные сельскохозяйственные тракторы необходимо заправлять газомоторным топливом в поле от передвижных газозаправщиков, имеющих большую массу. Использование таких заправщиков значительно осложняется в условиях полевых дорог и сложных погодных условиях. Кроме того, ввиду большой массы и габаритов устанавливаемых на трактор баллонов компримированного природного газа не удается обеспечить регламентируемый нормативными документами объем одноразовой заправки топливом на 10 ч непрерывной работы при энергоемких операциях [1].

Использование сжиженного природного газа помогает устранить ряд недостатков, связанных с массогабаритными показателями. Однако применение более дорогостоящего криогенного оборудования для сжиженного природного газа в определенной степени затрудняет его использование в сельском хозяйстве. Указанные недостатки при применении компримированного и сжиженного природного газов в сельском хозяйстве устраняют путем использования в тракторных газодизельных двигателях сжиженного углеводородного газа (сжижается при давлении 6–10 кг/см²). Благодаря этому емкости для сжиженного углеводородного газа, устанавливаемые на тракторы, передвижные и стационарные заправщики имеют значительно меньшие габариты и массу, что позволяет применять легкий полевой газозаправщик, а также обеспечивать необходимую величину одноразовой заправки [2].

Основной целью данного исследования является определение способов устранения детонации в газодизельном процессе при работе на сжиженном уг-

леводородном газе. Детонация — это взрывной режим горения топливногазовоздушной смеси в камере сгорания, сопровождающийся стуком кривошипно-шатунного механизма. Возникает он на режимах работы дизеля по газодизельному процессу близких к максимальной мощности. Исходя из этого, в первую очередь, исследования проводились при работе дизеля на режимах внешней регуляторной характеристики.

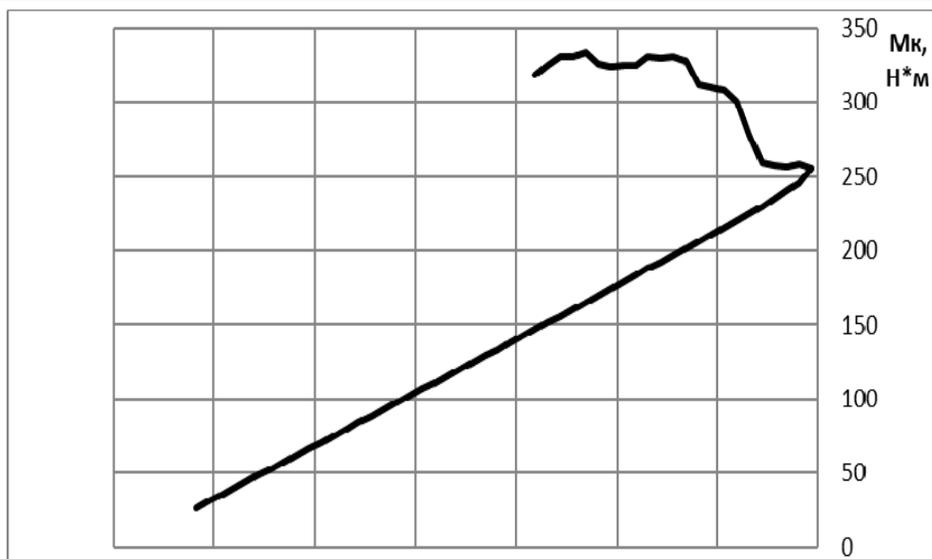
Внешняя регуляторная характеристика при работе двигателя Д-243 в дизельном режиме представлена на рис. 1 и в табл. 1 [4]. Эта характеристика служит примером для сравнения с данными работы дизеля в газодизельном режиме.

Таблица 1

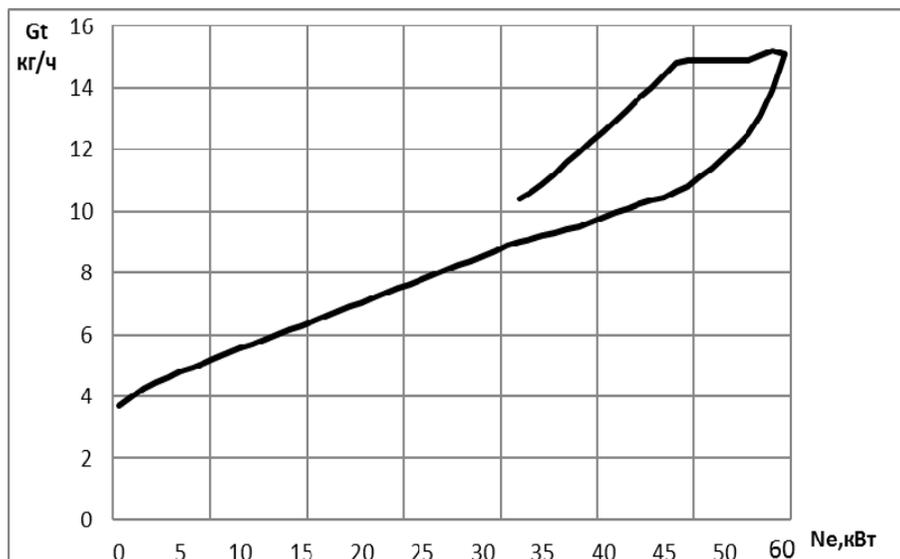
Протокол внешней регуляторной характеристики базового дизеля

Нагрузка, кгс	Обороты двигателя, об/мин	Часовой расход топлива G, кг/ч	Температура выпускных газов, С	Мощность Ne, кВт= $P_{тх} \times \eta_e / (930 \times 1,36)$	Мощность Ne, л.с. = $P_{тх} \times \eta_e / 930$	Крутящий момент M _к , кгс×м = $N_{ел.с.} \times 716,2 / \eta_e$	Крутящий момент M _к , Н×м = $N_e \times 9550 / \eta_e$	Расход топлива g _e , г/кВт×ч = $G \times 1000 / N_e$, кВт	Циклическая подача V _ц мм ³ /цикл = $2 \times 1000 \times 1000 \times G / (0,837 \times 60 \times \eta_e \times i)$
3	836	1,46	130	1,9	2,6	2,3	22,6	736,2	17,3
2	2115	3,66	150	3,3	4,5	1,5	15,1	1094	17,2
2	2180	4,41	200	3,4	4,6	1,5	15,1	1279	20,1
22,2	2140	9,47	440	37,5	51,0	17,0	167,6	252,1	44,0
33,5	2080	15,18	670	55,0	74,9	25,7	252,9	275,5	72,6
34,5	1992	15,05	690	54,3	73,9	26,5	260,4	276,9	75,2
34,6	2125	16,18	710	58,2	79,2	26,7	261,5	278,0	78,3
33,9	1980	14,99	690	53,0	72,1	26,1	255,9	282,4	75,3
34,1	1965	15,07	690	52,9	72,0	26,2	257,4	284,4	76,3
34,3	1930	14,82	700	52,3	71,1	26,4	258,9	283,1	76,4
40,9	1490	15,11	720	48,1	65,5	31,4	308,8	313,6	100,9
41,2	1410	14,96	720	45,9	62,4	31,7	311,0	325,7	105,6
43,5	1305	14,24	670	44,8	61,0	33,4	328,4	317,2	108,6
42,9	1205	12,94	660	40,8	55,5	33,0	323,9	316,6	106,9
42,9	1175	12,6	650	39,8	54,2	33,0	323,9	316,1	106,7
43,2	1110	11,92	640	37,9	51,5	33,2	326,1	314,4	106,9
44	1050	11,3	640	36,5	49,6	33,8	332,2	309,3	107,1
43	990	10,46	620	33,6	45,7	33,1	324,6	310,7	105,1

В газодизельном режиме система обеспечивает регулирование подачи газа для работы двигателя по внешней и частичным регуляторным характеристикам, одновременно обеспечивая подачу запальной дозы дизельного топлива. В дизельном режиме — регулирует подачу дизельного топлива аналогично работе всережимного центробежного регулятора топливного насоса высокого давления.



а



б

Рис. 1. Внешняя регуляторная характеристика при работе двигателя Д-243 в дизельном режиме:

а — крутящий момент M_k ; б — расход топлива G_t

Топливный насос высокого давления, укомплектованный всережимным электронным регулятором, проходил испытания на стенде топливной аппаратуры (рис. 2). В ходе испытаний на стенде автоматически устанавливались величины цикловых подач дизельного топлива при работе в дизельном режиме и цикловых подач запальной дозы дизельного топлива при работе в газодизельном режиме.

Также проверялась и при необходимости регулировалась неравномерность цикловых подач в секциях топливного насоса высокого давления. Минимальная неравномерность цикловых подач устанавливалась для режима запальной дозы, что обеспечило надежное воспламенение газового топлива во всех цилиндрах на режимах с минимальными подачами запальной дозы. В случае наличия значительной неравномерности цикловых подач по секциям при минимальных значениях запальной дозы возможно появление пропусков воспламенения в цилиндрах с наименьшей цикловой подачей запальной дозы [3].

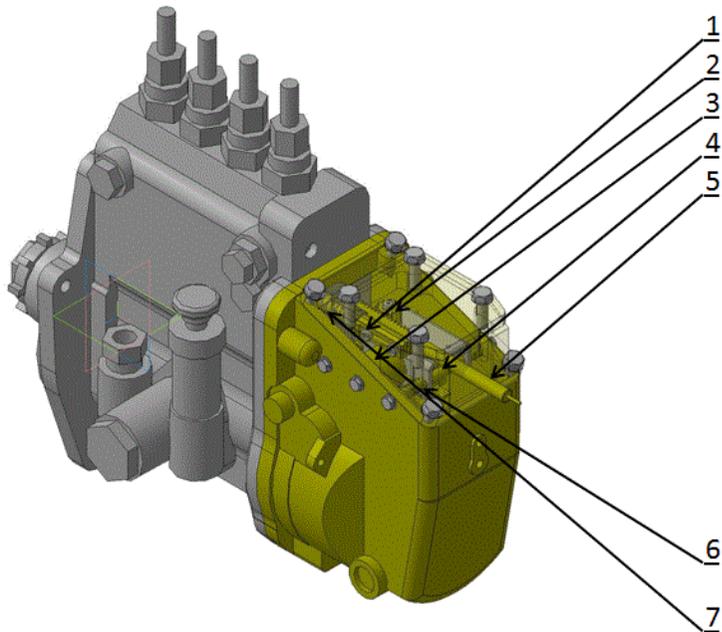
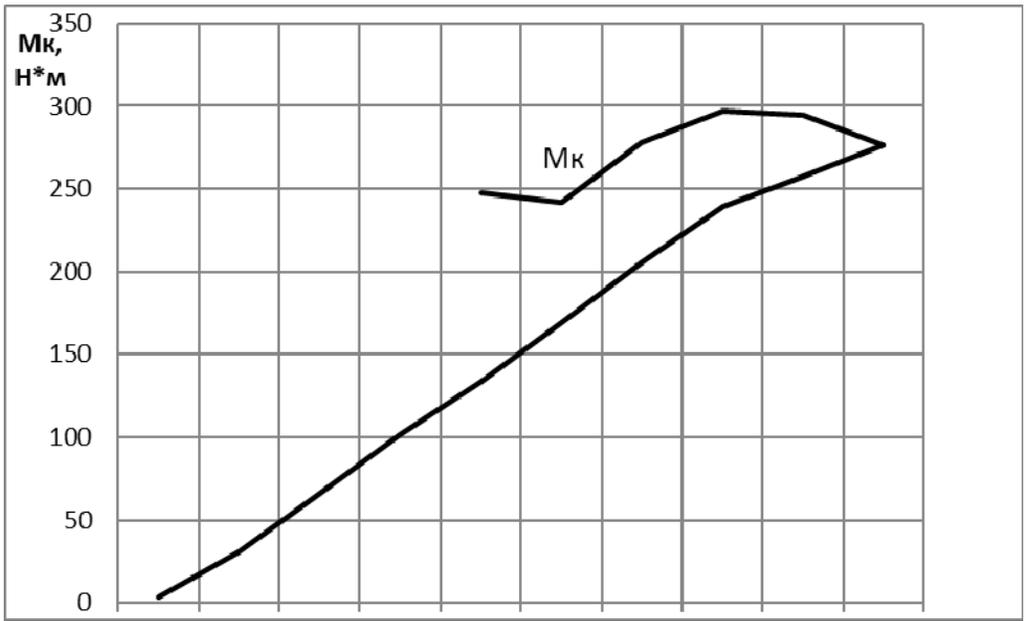


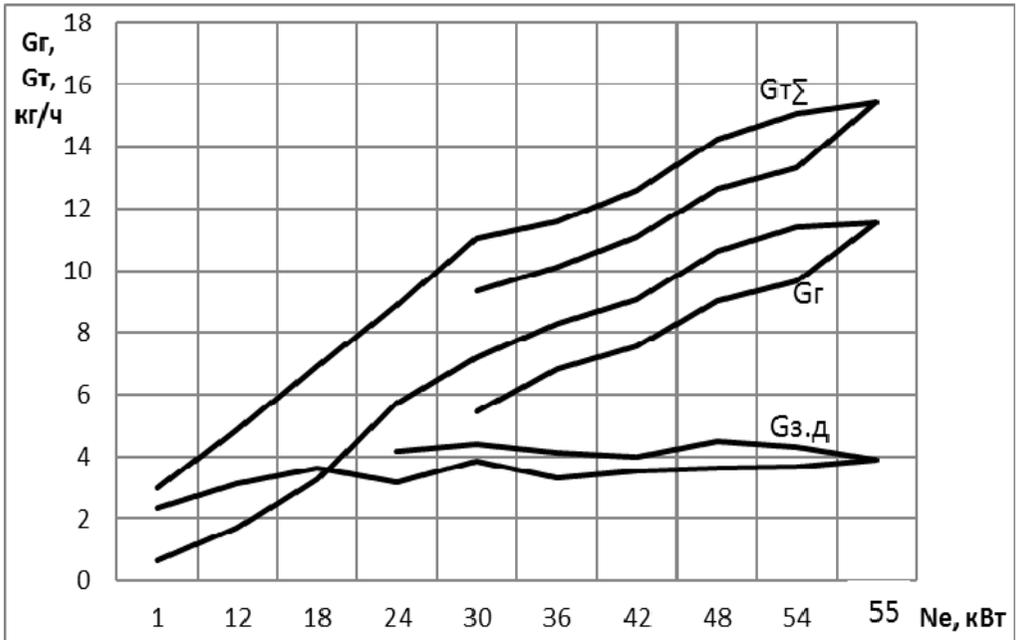
Рис. 2. Электронный регулятор

Изменение подачи топлива обеспечивается перемещением рейки топливного насоса высокого давления 1 при помощи сервопривода со встроенным энкодером 2. Электромагнит 3 перемещает сервопривод в зацепление с рейкой топливного насоса высокого давления по направляющим 4. Выключение подачи топлива определяется включением датчика нулевого положения рейки 5. При выключении электромагнита сервопривод выводится из зацепления с рейкой предохранительными пружинами 6, при этом рейка автоматически возвращается в положение прекращения подачи топлива при помощи возвратной пружины 7.

Комплексное использование регулировки угла опережения впрыска запальной дозы и угла опережения впрыска газа, а также рециркуляции отработавших газов обеспечивает при работе на сжиженном углеводородном газе мощность без детонации до 95 % относительно мощности в дизельном режиме работы (рис. 3) [5].



а



б

Рис. 3. Регуляторная характеристика двигателя Д-243 при работе на сжиженном углеводородном газе в газодизельном режиме:

а — крутящий момент; б — расход топлива (G_g — газ, $G_{z.d.}$ — дизель, G_{Σ} — общий расход)

При работе в газодизельном режиме 100 % мощности относительно мощности в дизельном режиме обеспечивается при использовании регулировки угла

опережения впрыска запальной дозы и угла опережения впрыска газа (табл. 2), рециркуляции отработавших газов и повышении запальной дозы до 10 % на режиме максимальной мощности.

Таблица 2

Параметры подачи газа, обеспечивающие бездетонационную работу двигателя

Частота вращения, мин ⁻¹	Нагрузка, %	Запальная доза, %	Угол начала впрыска, град.	Угол впрыска, град.	Открытие заслонки рециркуляции, %
800–1000	0–5	15	28	40	10
	Более 5	17	28	45	15
1000–1200	0–15	15	28	45	20
	Более 15	19	28	50	25
1200–1400	0–25	20	28	50	20
	Более 25	21	29	60	30
1400–1600	0–35	21	29	60	30
	Более 35	23	29	70	100
1600–1800	0–50	23	30	80	50
	Более 50	25	31	90	100
1800–2000	0–70	25	32	110	80
	Более 70	28	32	130	100
1800–2200	0–85	28	32	140	100
	Более 85	29	32	180	100
2200–2400	0–85	29	32	110	100
	Более 85	30	32	180	100
1100–1600	$M_{кр\ max}$	35	32	180	100

На данном этапе исследований повышение запальной дозы осуществлялось в ручном режиме управления. Система питания двигателя, адаптированного к работе на сжиженном углеводородном газе (газодизельный процесс), представлена на рис. 4 [6].

Стоимость переоборудования автотракторного парка для использования сжиженного углеводородного газа составляет 14 млн 258 тыс. руб., что в 2,9 раза дешевле, чем для компримированного природного газа, и в 7 раз дешевле, чем для сжиженного природного газа [7]. Стоимость переоборудования и заправочного комплекса — 30 млн руб., что в 3,5 раза меньше, чем для компримированного и в 6 раз меньше, чем для сжиженного природного газа [8].

При переоборудовании срок окупаемости техники без заправочного комплекса составляет 0,4; 0,8 и 2,4 лет соответственно для сжиженного углеводородного, компримированного природного и сжиженного природного газов.

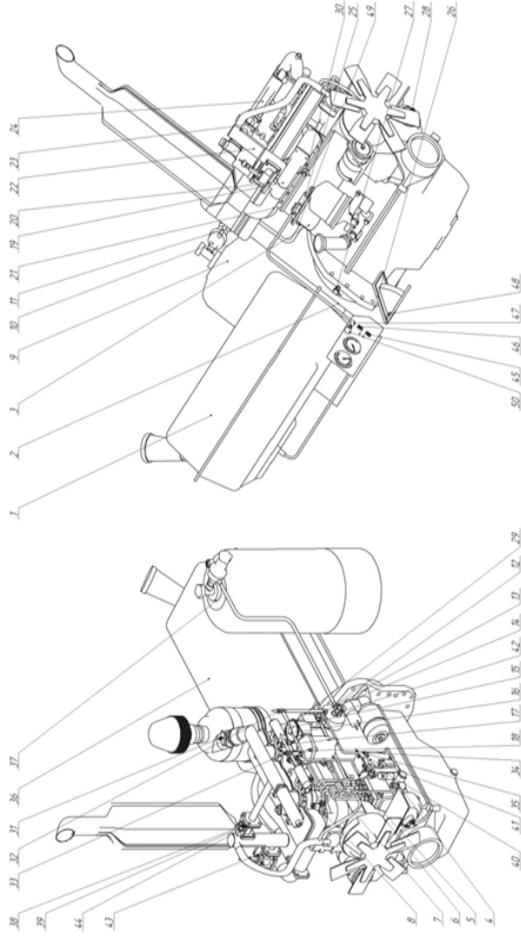


Рис. 4. Система питания двигателя, адаптированного к работе на сжиженном углеводородном газе под прямым углом зрения (слева) и углом 45° (справа):

система подачи дизельного топлива; 1 — бак для дизельного топлива; 2 — магистраль низкого давления; 3 — топливный фильтр грубой очистки; 4 — топливоподкачивающий насос; 5 — топливный фильтр тонкой очистки; 6 — топливный насос высокого давления; 7 — магистраль высокого давления; 8 — форсунка; система подачи газа: 9 — баллон газовый; 10 — запорный клапан; 11 — магистраль газовой фазы; 12 — запорный клапан; 13 — редуктор-испаритель газовый; 14 — магистраль газовой фазы; 15 — фильтр газовый; 16 — ресивер газовый; 17 — форсунка газовая; 18 — проставок-смеситель; система рециркуляции: 19 — отвод коллектора отработавших газов; 20 — клапан отбора отработавших газов; 21 — отвод глушителя; 22 — охладитель отработавших газов; 23 — дроссельная заслонка отработавших газов; 24 — отвод выпускного коллектора; электронная система управления газодизельным двигателем на сжиженном углеводородном газе: 25 — электронный блок управления; 26 — педаль; 27 — датчик частоты вращения; 28 — датчик положения коленчатого вала в сборе; 29 — датчик температуры охлаждающей жидкости; 30 — датчик детонации; 31 — датчик массового расхода воздуха; 32 — датчик давления газа; 33 — датчик температуры газа; 34 — датчик положения рейки (встроенный энкодер); 35 — датчик прекращения подачи жидкого топлива; 36 — датчик уровня дизельного топлива; 37 — датчик уровня газа; 38 — датчик температуры рециркулируемых газов; 39 — датчик прекращения подачи жидкого топлива; 40 — исполнительное устройство; 41 — электромагнит исполнительного устройства; 42 — электромагнитный клапан запорный; 43 — исполнительное устройство заслонки рециркуляции; 44 — электромагнитный клапан рециркуляции; 45 — кнопка «дизель/газодизель»; 46 — кнопка «старт/стоп»; 47 — ручной регулятор подачи топлива; 48 — резисор педального задатчика; 49 — блок управления газовыми форсунками; 50 — замок зажигания

С учетом заправочных средств срок возрастает до 0,9; 2,4 и 4,2 лет соответственно. Ежегодная экономия на топливе, по сравнению с использованием классической системы питания дизельного топлива, составит 65–86 млн руб. [9]. Полученные результаты являются подтверждением рациональности использования сжиженного углеводородного газа в качестве неполного замещения дизельного топлива: газ — 75 % и дизель — 25 %. Двухтопливная система питания двигателя, переключения с газодизеля на дизель, обеспечит длительную бесперебойную работу трактора, в отличие от аналогов, которые не способны обеспечить работу трактора при выработке газа в баллонах [10].

Литература

- [1] Коклин И.М., Потапенко М.С., Маленкина И.Ф. Развитие систем газоснабжения для обеспечения потребителей газомоторным топливом. *АвтоГазоЗаправочный комплекс + Альтернативное топливо*, 2015, № 8, с. 9–21.
- [2] Коклин И.М. Использование природного газа в качестве моторного топлива. *АвтоГазоЗаправочный комплекс + Альтернативное топливо*, 2014, № 3(84), с. 20–28.
- [3] Уютов С.Ю., Савельев Г.С., Прядкин В.И. Обзор зарубежных разработок по конвертации дизелей в газоискровый двигатель. *Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования*, 2014, № 1, с. 74–76.
- [4] Савельев Г.С., Кочетков М.Н., Овчинников Е.В. Комплексное использование газомоторного топлива в сельскохозяйственном производстве. *Инновационное развитие АПК России на базе интеллектуальных машинных технологий. Междунар. науч.-техн. конф. Сб. науч. докл.* Москва, ВИМ, 2014, с. 136–140.
- [5] Савельев Г.С., Кочетков М.Н., Овчинников Е.В., Овчинников А.В. ВИМ – пионер в создании тракторов, работающих на газе. *Система технологий и машин для инновационного развития АПК России. Сб. науч. докл. Междунар. Науч.-техн. конф., посвященной 145-летию со дня рождения основоположника земледельческой механики В.П. Горячкина. Ч. 1.* Москва, ВИМ, 2013, с. 218–223.
- [6] Савельев Г.С. Альтернативное топливо в сельском хозяйстве. *АГЗК+АТ*, 2006, № 1(25), с. 64–70.
- [7] Савельев Г.С., Дегтярев Д.В. Техничко-экономические показатели газодизельных и газоискровых двигателей, работающих на КПГ. *Транспорт на альтернативном топливе*, 2012, № 2(26), с. 74–75.
- [8] Артюшин А.А., Савельев Г.С. Будущее за биоэнергетикой. *Сельскохозяйственные машины и технологии*, 2009, № 6, с. 34–39.
- [9] Годжаев З.А., Савельев Г.С., Кочетков М.Н., Овчинников Е.В., Овчинников А.В., Трубицин А.В. Разработка технических требований и технико-экономического обоснования к созданию и переоборудованию мобильной сельскохозяйственной техники, работающей на газомоторном топливе (подэтап 23.1.1.). *АГЗК+АТ*, 2015, № 3, с. 21–35.
- [10] Алеев В.З., Савельев Г.С. *Современные газовые двигатели для тракторов, автомобилей и сельскохозяйственных машин. Обзорная информация.* Москва, ВНИИТЭИСХ, 1976, 66 с.

Уютов Сергей Юрьевич — аспирант, младший научный сотрудник ФНАЦ ВИМ, Москва, Российская Федерация.

LIQUEFIED PETROLEUM GAS AS MOTOR FUEL IGNITED FROM FUSE DOZE OF DIESEL FUEL

S.Yu. Uytov

s_uyutov@mail.ru

Federal Scientific Agro-Engineering Center (VIM), Moscow, Russian Federation

Abstract

The purpose of the article was to carry out the research using test-bench equipment of diesel engine D-243 of Minsk Motor Plant. We tested the system of gas supply of national production and Lovato company. Findings of the research show that substitution of diesel fuel with liquefied petroleum gas reaches high values.

Keywords

Gas motor fuel, liquefied natural gas, compressed natural gas, liquefied petroleum gas, fuel injection pump, diesel fuel

© Bauman Moscow State Technical University, 2017

References

- [1] Koklin I.M., Potapenko M.S., Malenkina I.F. The development of gas supply systems for consumer gas motor fuel. *AvtoGazoZapravochnyy kompleks + Al'ternativnoe toplivo*, 2015, no. 8, pp. 9–21.
- [2] Koklin I.M. The use of natural gas-as a motor fuel. *AvtoGazoZapravochnyy kompleks + Al'ternativnoe toplivo*, 2014, no. 3(84), pp. 20–28.
- [3] Uytov pp.Yu., Savel'yev G.S., Pryadkin V.I. Review foreign developments on the conversion of diesel in the gas-spark engine. *Al'ternativnye istochniki energii v transportno-tekhnologicheskoy kompleks: problemy i perspektivy ratsional'nogo ispol'zovaniya*, 2014, no. 1, pp. 74–76.
- [4] Savel'yev G.S., Kochetkov M.N., Ovchinnikov E.V. Kompleksnoe ispol'zovanie gazomotor-nogo topliva v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve [Multipurpose utilization of natural gas motor fuel in agricultural production]. *Innovatsionnoe razvitiye APK Rossii na baze intellektual'nykh mashinnykh tekhnologiy. Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. Sb. nauch. dokl.* [Innovative development of the Russian agroindustrial complex on base of intelligent computer technology. Int. sci.-tech. conf. proc.]. Moscow, VIM publ., 2014, pp. 136–140.
- [5] Savel'yev G.S., Kochetkov M.N., Ovchinnikov E.V., Ovchinnikov A.V. VIM – pioner v sozdani traktorov, rabotayushchikh na gaze [VIM is a pioneer in creating of tractors, working on gas]. *Sistema tekhnologiy i mashin dlya innovatsionnogo razvitiya APK Rossii. Sb. nauch. dokl. Mezhdunar. Nauch.-tekhn. konf., posvyashchennoy 145-letiyu so dnya rozhdeniya osnovopolozhnika zemledel'cheskoy mekhaniki V.P. Goryachkina. Ch. 1* [System of technologies and machines for innovative development of the Russian agroindustrial complex: Proc. Int. Sci.-tech. conf., dedicated to 145 anniversary of Goryachkin V.P. – a founder of agricultural mechanics. P. 1]. Moscow, VIM publ., 2013, pp. 218–223.
- [6] Savel'yev G.S. Alternative fuel in agriculture. *AGZK+AT*, 2006, no. 1(25), pp. 64–70.
- [7] Savel'yev G.S., Degtyarev D.V. Technical and economic indicators gazo-diesel and gazo-spark the engines working on natural gas. *Transport na al'ternativnom toplive* [Alternative Fuel Transport], 2012, no. 2(26), pp. 74–75.
- [8] Artyushin A.A., Savel'yev G.S. Bioenergetics is the thing of the future. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*, 2009, no. 6, pp. 34–39.

- [9] Godzhaev Z.A., Savel'yev G.S., Kochetkov M.N., Ovchinnikov E.V., Ovchinnikov A.V., Trubitsin A.V. Develop technical requirements and feasibility study on the establishment and improvement of mobile agricultural machinery running on gas-motor fuel (substage 23.1.1.). *AGZK+AT*, 2015, no. 3, pp. 21–35.
- [10] Aleev V.Z., Savel'yev G.S. *Sovremennye gazovye dvigateli dlya traktorov, avtomobiley i sel'skokhozyaystvennykh mashin. Obzornaya informatsiya* [Modern gas-engines for tractors, vehicles and agricultural machinery. Background information]. Moscow, VNIITEISKh publ., 1976, 66 p.

Uyutov S.Yu. — post-graduate student, Junior Research Fellow, Federal Scientific Agro-Engineering Center (VIM), Moscow, Russian Federation.