

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПОДАЧЕЙ ГАЗОВОГО
ТОПЛИВА В ДИЗЕЛЬНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ПРИ РАБОТЕ В РЕЖИМЕ ГАЗОДИЗЕЛЯ

D.M. Voronin, P.I. Fedyunin,
G.V. Shnitkov, A.V. Safonov

OPTIMIZATION OF THE ELECTRONIC SYSTEMS CONTROLLING THE GAS FUEL SUPPLY
IN DIESEL ENGINES WHILE OPERATING IN DIESEL-GAS CYCLE

Воронин Д.М. – д-р техн. наук, проф. каф. эксплуатации машинно-тракторного парка Новосибирского государственного аграрного университета, г. Новосибирск. E-mail: Mr_shnit@rambler.ru

Федюнин П.И. – канд. техн. наук, доц. каф. автомобилей и тракторов Новосибирского государственного аграрного университета, г. Новосибирск. E-mail: Mr_shnit@rambler.ru

Шнитков Г.В. – ст. преп. каф. автомобилей и тракторов Новосибирского государственного аграрного университета, г. Новосибирск. E-mail: Mr_shnit@rambler.ru

Сафонов А.В. – инженер-конструктор ОАО «НовосибАРЗ», г. Новосибирск. E-mail: www.mtz@mail.ru

Voronin D.M. – Dr. Techn. Sci., Prof., Chair of Machines and Tractors Park Operation, Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk. E-mail: Mr_shnit@rambler.ru

Fedyunin P.I. – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Chair of Cars and Tractors, Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk. E-mail: Mr_shnit@rambler.ru

Shnitkov G.V. – Asst, Chair of Cars and Tractors, Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk. E-mail: Mr_shnit@rambler.ru

Safonov A.V. – Design Engineer of JSC “NovosibARZ”, Novosibirsk. E-mail: www.mtz@mail.ru

Описано одно из перспективных направлений использования углеводородных газов в качестве моторного топлива при эксплуатации дизельных двигателей в режиме газодизеля с применением электронных систем управления подачей газового топлива, работающих по принципу замещения дизельного топлива газообразным. На основании ранее проведённых испытаний одной из таких систем – Blue-Power Diesel с подачей двух разных видов газового топлива в условиях лаборатории испытаний двигателей внутреннего сгорания Новосибирского государственного аграрного университета выявлено, что потенциал таких систем реализуется не полностью, порядка 50 %, так как используемая электронная карта управления подачей газового топлива не учитывает специфику работы дизельного двигателя. Предложен один из способов повышения эффективности данных электронных систем путём увеличения количества ячеек электронной карты подачи газового топлива, чтобы характер изменения дозирования газо-

вого топлива повторял регуляторную характеристику топливного насоса высокого давления, для корректной работы дизельного двигателя. Сняты сравнительные регуляторные характеристики дизельного двигателя на номинальных оборотах в разных режимах: режим дизеля, режим газодизеля на пропан-бутан технической смеси и газодизеля на метане, где подача газового топлива осуществлялась по откорректированной электронной топливной карте с шагом 10 мин⁻¹ по частоте вращения коленчатого вала. Произведён сравнительный экономический анализ трёх режимов, получены следующие результаты: экономия дизельного топлива в режиме газодизеля с добавлением пропан-бутан технической смеси порядка 33 % во всём нагрузочном диапазоне, с добавлением метана 40–45 %, экономия денежных средств затрат на топливо с добавлением пропан-бутана достигает 22 %, с добавлением метана до 38 %, что является эффективным.

Ключевые слова: дизельный двигатель, режим газодизеля, электронная система управления, пропан-бутан техническая смесь, метан, экономия топлива.

One of the promising directions of hydrocarbon gas applying as motor fuel while operating diesel engines in diesel-gas cycle with the use of electronic gaseous control systems, running the principle of gaseous substitution of diesel was described. On the basis of previously conducted tests of one of these systems – Blue-Power Diesel supplying two different kinds of gas fuel in the laboratory test of the internal combustion engine at the Novosibirsk State Agrarian University it was revealed that the potential of such systems is about 50 % utilized because electronic gas fuel control card does not take into account the particularity of the diesel engine. A way of improving the efficiency of these electronic systems by increasing the number of cells of the electronic supplying gas fuel card for the changing manner of the gaseous fuel dosing to repeat regulatory characteristic of the high-pressure fuel pump for the correct diesel engine operation was suggested. Comparative regulatory characteristics of the diesel engine at the rated speed in different modes: diesel cycle, diesel-gas cycle on propane-butane mixture and diesel-gas cycle on methane wherein the amount of gas fuel supplying was carried in accordance with the corrected electronic fuel card in increments of 10 rpm crankshaft speed were discontinued. A comparative economic analysis of three modes was conducted and the following results were obtained: savings of diesel fuel in diesel-gas cycle adding about 33 % of propane-butane technical mixture throughout the load range, with the addition of 40–45 % of methane, saving money on fuel costs containing propane butane reaches 22 % and containing methane is 38%, which is effective.

Keywords: diesel engine, diesel-gas cycle, electronic control system, propane-butane technical mixture, methane, fuel economy.

Введение. Экологические и экономические императивы заставляют мировую экономику вести постоянный поиск всё новых и новых альтернатив традиционным нефтяным моторным топливам. Политика замещения нефтепродуктов альтернативными энергоносителями приве-

дёт к сокращению доли нефти в мировом топливном балансе, запасов которой при современных ростах темпах добычи осталось лет на 20–30 [1].

На перспективу самым оптимальным со всех точек зрения видом моторного топлива является метан, основным источником которого был, остаётся и будет оставаться природный газ, запасы которого могут обеспечивать мировые потребности ещё минимум в течение 250 лет. Он обладает уникальной особенностью: в нём одновременно сошлись все экологические, технические и коммерческие преимущества. Поэтому практика использования метана в качестве моторного топлива всё больше набирает популярность [2].

Сейчас используются электронные системы управления подачей газового топлива, например: Blue-Power Diesel, Oscar-N Diesel, STAG DIESEL, Tamona DieselGas, Elpigaz DEGAmix, ZenitPRO Diesel и т.д. Применение таких систем позволило частично решить проблемы механической системы подачи газового топлива в дизельный двигатель.

Одна из систем, устанавливаемых на дизельный двигатель, отвечающая за подачу газового топлива, – Blue-Power Diesel. В этом случае газовое топливо из баллонов поступает в газовый редуктор и подаётся через газовые форсунки во впускной коллектор. Управление подачей газа осуществляется при помощи электронного блока управления, который обрабатывает сигналы датчиков: положения рычага подачи топлива, давления во впускном коллекторе, оборотов двигателя, температуры редуктора и температуры отработавших газов в выпускном коллекторе. В качестве газового топлива может выступать пропан-бутановая техническая смесь (СНГ – сжиженный нефтяной газ) или метан (КПГ – компримированный природный газ) [3].

Проведённый ряд исследований системы Blue-Power Diesel в лаборатории испытаний двигателей внутреннего сгорания (ДВС) ФГБОУ ВО «Новосибирский ГАУ» показал, что возможности газовой системы используются не полностью (порядка 50%), поэтому они применяются не активно (не достигается достаточная экономия) [4].

Цель работы. Повышение технико-экономических показателей дизельных двигателей при работе в режиме газодизеля.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

1) обосновать основные режимные параметры дизельного двигателя при работе в режиме газодизеля;

2) оценить технико-экономические показатели при эксплуатации дизельного двигателя в режиме газодизеля;

3) оптимизировать настройки электронной карты подачи газового топлива.

Дизельные двигатели, которые целесообразно эксплуатировать в режиме газодизеля, должны иметь большой рабочий объём (более 4 л). Как правило, это не «высокооборотистые» двигатели, и их максимальные обороты не превышают 2500 мин⁻¹.

Существующие на данный момент электронные системы подачи газового топлива методом замещения используют электронную карту настройки подачи газового топлива от газовых систем 4-го поколения для бензиновых двигателей (рис. 1), где количество подаваемого топлива зависит от двух параметров: TPS – положение

педали газа, в нашем случае положение рычага всережимного регулятора топливного насоса высокого давления (ТНВД) и частота вращения коленчатого вала двигателя n (rpm). Как показали предварительные результаты проведённых опытов, данная электронная карта (рис. 1) не учитывает специфику работы системы питания «классического» дизельного двигателя, так как количество подаваемого дизельного топлива в цилиндр двигателя за цикл q изменяется от частоты вращения коленчатого вала n , по регуляторной характеристике ТНВД с всережимным регулятором (рис. 2), где с изменением частоты вращения коленчатого вала дизельного двигателя на 100 мин⁻¹ его мощность может измениться от 5 до 100 % номинальной. А дозирование газового топлива практически должно повторять регуляторную характеристику ТНВД. Поэтому осуществляется некорректная подача газового топлива на различных режимах работы дизельного двигателя в режиме газодизеля. Из-за этого газовое топливо используется недостаточно эффективно – замещение максимум 40 % и только на одном режиме, следовательно, меньше экономия.

TPS/rpm	500	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600
1.90	0	0	0	0	0	0	0	0
2.00	0	0	0	0	0	0	0	0
2.10	0	0	0	0	0	0	0	0
2.20	0	0	0	0	3	4	2	0
2.30	0	0	0	0	5	5	5	5
2.40	0	1	13	14	15	13	11	5
2.50	5	8	15	19	22	24	12	5
2.60	9	15	20	23	27	30	25	5
2.80	12	20	24	30	33	35	27	8
3.92	15	25	33	38	40	38	30	13
250.20	20	30	38	41	45	44	42	18
3.40	22	34	45	50	53	54	43	40
3.60	17	30	38	43	47	48	40	33
3.80	15	23	30	33	37	38	32	30
4.00	12	15	19	23	26	27	23	27
4.19	5	5	10	15	17	14	11	25

Рис. 1. Электронная карта настройки подачи газового топлива

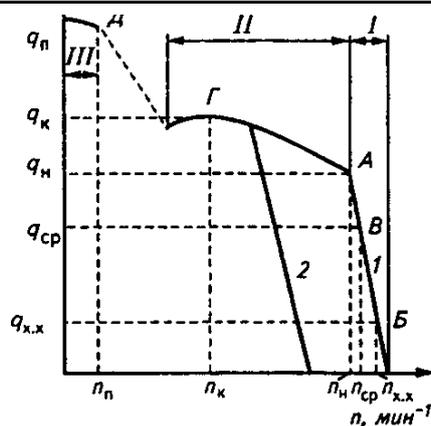


Рис. 2. Регуляторная характеристика ТНВД с всережимным регулятором

Материалы и методы исследования. Для проверки данной теории и оценки технико-экономических показателей двигателя проведены сравнительные испытания трёх регуляторных характеристик дизельного двигателя при работе на разных видах топлива: дизельном топливе ГОСТ 305-82 «Л», в режиме газодизеля на СНГ ГОСТ 27578-87 и режиме газодизеля на КПГ ГОСТ 27577-87. Работа проводилась в лаборатории испытания ДВС Новосибирского ГАУ на двигателе Д-240 дефорсированного по обо-

ротам начала срабатывания регулятора, соединённого со стендом КИ-5422. Расчёты расхода топлива и мощности дизеля проводились по общепринятым стандартным методикам [5].

Результаты исследования и их обсуждение. Чтобы дозирование газового топлива как можно точнее повторяло регуляторную характеристику ТНВД при работе двигателя на номинальных оборотах, шаг ячеек в таблице по оборотам приняли 10 мин⁻¹ (рис. 3).

TPS/rpm	1770	1780	1790	1800	1810	1820	1830	1840
1.80	0	0	0	0	0	0	0	0
2.00	0	0	0	0	0	0	0	0
2.20	0	0	0	0	0	0	0	0
2.40	0	0	0	0	0	0	0	0
2.60	0	0	0	0	0	0	0	0
2.80	0	0	0	0	0	0	0	0
3.00	0	0	0	0	0	0	0	0
3.19	0	0	0	0	0	0	0	0
3.40	0	0	0	0	0	0	0	0
3.60	0	0	0	0	0	0	0	0
3.80	0	0	0	0	0	0	0	0
4.00	0	0	0	0	0	0	0	0
4.10	0	0	0	0	0	0	0	0
4.19	45	52	67	52	45	30	22	0
4.29	45	52	67	52	45	30	22	0
4.40	45	52	67	52	45	30	22	0

Рис. 3. Новая электронная карта подачи газового топлива

Далее экспериментальным путём для данного двигателя определена величина максимального замещения дизельного топлива газовым с сохранением нормальной жёсткости работы дизельного двигателя при максимальном положении рычага регулятора ТНВД (коэффициент за-

мещения КПГ составил в 1,5 раза больше, чем СНГ). Сняты регуляторные характеристики двигателя при работе на дизельном топливе в режиме газодизеля на СПГ и на КПГ. Полученные результаты представлены на рисунке 4.

На основании полученных данных произведён сравнительный анализ экономии дизельного топлива при работе двигателя в режиме ди-

зеля и режиме газодизеля, выраженной в процентах (рис. 5).

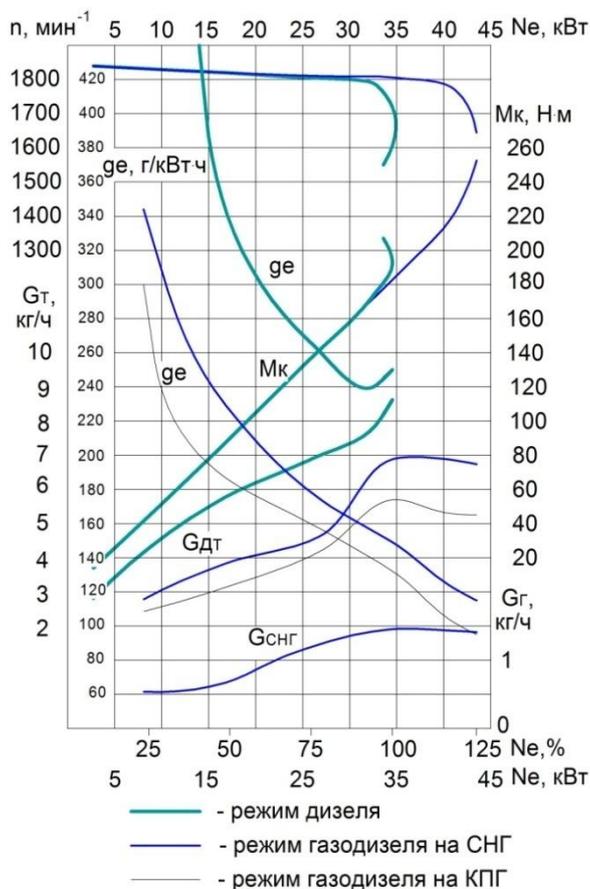


Рис. 4. Регуляторная характеристика испытуемого двигателя



Рис. 5. Экономия дизельного топлива

Затраты денежных средств на топливо при работе на разных режимах, посчитаны по формулам (1)–(3) и представлены в таблице. На момент проведения испытаний стоимость дизельного топлива составляло 33,0 р. за 1 л (C_d); стоимость СПГ – 18,0 р. за 1 л ($C_{снг}$); КПГ – 11,0 р. за 1 м³ ($C_{кпг}$).

$$Z_d = (G_{дт}/\rho_d) \cdot C_d \quad (1)$$

$$Z_{д+снг} = (G_{дт}/\rho_d) \cdot C_d + (G_{снг}/\rho_{снг}) \cdot C_{снг} \quad (2)$$

$$Z_{д+кпг} = (G_{дт}/\rho_d) \cdot C_d + (G_{снг} \cdot 1,5/\rho_{кпг}) \cdot C_{кпг} \quad (3)$$

где $G_{дт}$ – часовой расход дизельного топлива, кг/ч; $G_{снг}$ – часовой расход СПГ топлива, кг/ч; ρ – плотность топлива; C – стоимость топлива за единицу.

Разность затрат денежных средств на топливо представлена в процентах на рисунке 6.

Затраты денежных средств на топливо в зависимости от загрузки двигателя

$N_e, \%$	$Z_d, \text{р/ч}$	$Z_{д+снг}, \text{р/ч}$	$Z_{д+кпг}, \text{р/ч}$
25	165	128,6	107,3
50	222,6	172,5	137,6
75	264,8	216,9	186,2
100	330,8	285,3	252,1

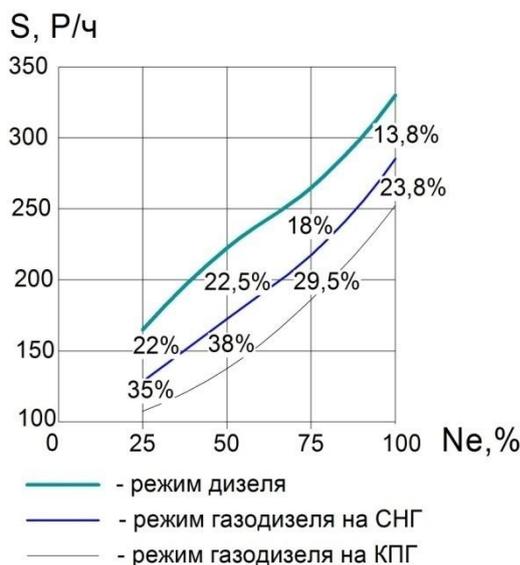


Рис. 6. Экономия денежных средств

В результате проведенного исследования выявлено:

1. При работе двигателя в режиме газодизеля крутящий момент и мощность двигателя в корректорной зоне увеличились на 22–25 % по сравнению с режимом дизеля (рис. 4).

2. Экономия дизельного топлива при работе двигателя в режиме газодизеля на СПГ стабильно более 33 % при нагрузке до 75 % от номинальной, на КПГ более 40 % (рис. 5).

3. Экономия денежных средств затрат на топливо при эксплуатации в режиме газодизеля на СПГ составляет около 22%, в режиме газодизеля на КПГ стабильно больше 24 % и доходит до 38 % (рис. 6).

4. Более высокое октановое число КПГ (115), чем у СПГ (105), позволяет использовать больший коэффициент замещения дизельного топлива газовым (в среднем в 1,5 раза), а также более низкая цена способствуют высоким технико-экономическим показателям двигателя при работе в режиме газодизеля на КПГ по сравнению с СПГ.

Выводы

1. Обоснованы основные режимные параметры дизельного двигателя при работе в режиме газодизеля.

2. Проведённая оценка технико-экономических показателей эксплуатации дизельного двигателя в режиме газодизеля подтверждает

эффективность и целесообразность данного режима, на котором экономия денежных средств затрат на топливо составляет 24 %, а мощность и крутящий момент двигателя в корректорной зоне возрастают до 25 % от номинальной.

3. Для автотракторных дизелей, эксплуатируемых в режиме газодизеля, предлагается увеличить количество ячеек электронной карты подачи газового топлива настолько, чтобы перекрыть диапазон от 500 до 2500 мин⁻¹ с шагом в 10 оборотов, т.е. около 200 ячеек по оборотам вместо 8, как у Blue-Power Diesel и других систем. Для этого необходимо применить новый программируемый электронный блок управления подачей газового топлива, «написать» и установить новую программу для ЭБУ, которая будет учитывать специфику работы системы питания дизельного двигателя. Это позволит обеспечить «корректную» подачу газового топлива во всём рабочем диапазоне работы двигателя, чтобы максимально использовать замещение дизельного топлива газовым для достижения максимальных экономических, экологических и мощностных показателей дизельного двигателя.

Литература

1. *Пронин Е.Н.* Золотой век метана на транспорте неизбежен // Транспорт на альтернативном топливе. – 2012. – № 4 (28). – С. 20–21.
2. *Гайворонский А.И., Марков В.А., Илатовский Ю.В.* Использование природного газа

и других альтернативных топлив в дизельных двигателях. – М.: ООО «ИРЦГазпром», 2007. – 480 с.

3. URL: <http://gas-energy.ru/informatsiya/106-gazodizel-blue-power>.
4. *Митьковский Н.М., Шнитков Г.В., Сафонов А.В.* Оценка экономической эффективности электронной системы управления подачей газового топлива Blue-Power Diesel // Транспорт на альтернативном топливе. – 2013. – № 3 (33). – С. 7–9.
5. ГОСТ 14846-81. Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний. – М.: Госстандарт, 1981.

Literatura

1. *Pronin E.N.* Zolotoj vek metana na transporte neizbezhen // Transport na al'ternativnom toplive. – 2012. – № 4 (28). – S. 20–21.
2. *Gajvoronskij A.I., Markov V.A., Ilatovskij Ju.V.* Ispol'zovanie prirodno gaza i drugih al'ternativnyh topliv v dizel'nyh dvigateljah. – М.: ООО «ИРЦГазпром», 2007. – 480 s.
3. URL: <http://gas-energy.ru/informatsiya/106-gazodizel-blue-power>.
4. *Mit'kovskij N.M., Shnitkov G.V., Safonov A.V.* Ocenka jekonomicheskoj jeffektivnosti jelektronnoj sistemy upravlenija podachej gazovogo topliva Blue-Power Diesel // Transport na al'ternativnom toplive. – 2013. – № 3 (33). – S. 7–9.
5. GOST 14846-81. Dvigateli avtomobil'nye. Metody stendovyh ispytanj. – М.: Gosstandart, 1981.

