

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВПУСКА И ГАЗООБМЕНА ДИЗЕЛЯ ПРИ РАБОТЕ НА СМЕСЕВОМ ТОПЛИВЕ

INVESTIGATION OF THE PROCESS OF INTAKE AND GAS EXCHANGE OF A DIESEL ENGINE WHEN OPERATING ON MIXED FUEL

Ш.В. БУЗИКОВ, к.т.н.

Вятский государственный университет, Киров, Россия,
shamilvb@mail.ru

SH.V. BUZIKOV, PhD in Engineering

Vyatka State University, Kirov, Russia, shamilvb@mail.ru

Предметом исследования является определение параметров процесса впуска и газообмена дизеля при использовании смешанного топлива (СТ), состоящего из дизельного топлива (ДТ) и рапсового масла (РМ). Основная цель настоящей работы состоит в определении зависимостей параметров процесса впуска и газообмена дизеля от состава применяемого СТ. Для достижения поставленной цели проведены теоретические и экспериментальные исследования тракторного дизеля Д-245.5С, размерностью 4ЧН 11,0/12,5 на следующих составах СТ: ДТ – 80 % + РМ – 20 %, ДТ – 45 % + РМ – 55 %, ДТ – 20 % + РМ – 80 %, а также чистом ДТ. В ходе проведенных исследований получены зависимости часового расхода воздуха G_b , коэффициента наполнения цилиндров η_v и плотности заряда во впускном коллекторе ρ_k дизеля при работе на ДТ и СТ от частоты вращения коленчатого вала n и нагрузки p_e при $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ и $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$. Теоретически определено и экспериментально подтверждено, что состав применяемого СТ практически не оказывает влияния на характеристики G_b , η_v и ρ_k в зависимости от n и p_e дизеля. В результате установлено, что с увеличением n от 1400 до 1800 мин^{-1} на всех составах СТ повышались: G_b – с 276 до 394 кг/ч, ρ_k – с 1,44 до 1,70 кг/м³, а при увеличении n от 1800 до 2000 мин^{-1} снижались: G_b – с 394 до 322 кг/ч, ρ_k – с 1,70 до 1,49 кг/м³ и η_v – с 0,97 до 0,77. С увеличением p_e с 0,2 до 1,2 МПа на всех составах СТ повышались при $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$: G_b – с 187 до 276 кг/ч, ρ_k – с 1,29 до 1,44 кг/м³ и η_v – с 0,73 до 0,97, при $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$: G_b – с 274 до 394 кг/ч, ρ_k – с 1,29 до 1,69 кг/м³ и η_v – с 0,83 до 0,91, соответственно.

Ключевые слова: дизельное топливо, рапсовое масло, смешанное топливо, процесс впуска, показатели процесса впуска.

Для цитирования: Бузиков Ш.В. Исследование процесса впуска и газообмена дизеля при работе на смешанном топливе // Тракторы и сельхозмашины. 2021. № 5. С. 6–12. DOI: 10.31992/0321-4443-2021-5-6-12

The subject of the research is to determine the parameters of the diesel intake and gas exchange process when using a mixed fuel (MF), consisting of diesel fuel (DF) and rapeseed oil (RO). The main goal of this work is to determine the dependences of the parameters of the intake and gas exchange of a diesel engine on the composition used by the MF. To achieve this goal, theoretical and experimental studies of the D-245,5S tractor diesel engine with a characteristic of 4ChN 11,0/12,5 were carried out on the following MF compositions: DF – 80 % + RO – 20 %, DF – 45 % + RO – 55 %, DF – 20 % + RO – 80 %, as well as pure diesel fuel. During the carried out studies there were obtained the dependences of the hourly air flow rate, the cylinder filling factor and the charge density in the intake manifold of a diesel engine when operating on DF and MF on the crankshaft rotation speed and load at $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ and $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$. It is theoretically determined and experimentally confirmed that the composition of the used MF has practically no effect on the characteristics G_b , η_v and ρ_k depending on p_e of the diesel engine. As a result, it was found that with an increase of n from 1400 to 1800 мин^{-1} on all compositions of MF the G_b increased from 276 to 394 kg/h, from 1,44 to 1,70 kg/m³, and at increase of n from 1800 to 2000 мин^{-1} , the G_b decreased from 394 to 322 kg/h, from 1,70 to 1,49 kg/m³ and from 0,97 to 0,77. With an increase from 0,2 to 1,2 MPa on all compositions the MF increased, at $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$, from 187 to 276 kg/h, ρ_k from 1,29 to 1,44 kg/m³ and η_v from 0,73 to 0,97, at $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$, G_b from 274 to 394 kg/h, ρ_k from 1,29 to 1,69 kg/m³ and η_v from 0,83 to 0,91, respectively.

Keywords: diesel fuel, rapeseed oil, mixed fuel, intake process, intake process indicators.

Cite as: Buzikov Sh.V. Investigation of the process of intake and gas exchange of a diesel engine when operating on mixed fuel. Traktory i sel'khoz mashiny. 2021. No 5, pp. 6–12 (in Russ.). DOI: 10.31992/0321-4443-2021-5-6-12

Введение

Применение смесового топлива (СТ) вместо традиционного дизельного (ДТ) на сегодняшний день становится все более востребованным. Данное обстоятельство связано прежде всего с несколькими факторами, такими как постоянно растущие как оптовые, так и розничные цены на ДТ и ужесточающиеся требования к выбросам токсичных веществ дизельными двигателями [1].

СТ представляет собой смесь, состоящую из чистого ДТ и альтернативного топлива (АТ) [1]. В свою очередь, вместо АТ могут выступать спирты, эфиры, глицерины, растительные масла и др. В качестве растительных масел в основном применяют соевое, сурепное, редьковое, рыжиковое, льняное, горчичное, сафлоровое, соевое и другие масла [2]. Наиболее популярным на сегодняшний день является рапсовое масло (РМ). Данное обстоятельство связано прежде всего с увеличивающимся спросом на его потребление во всем мире как пищевого продукта, в связи с этим доля посевов рапса как в России, так и зарубежом постоянно растет. Поэтому и открывается перспектива его использования в виде топлива для дизелей, что способствует снижению потребления ДТ [3].

Работа дизеля на СТ, состоящего из ДТ и РМ обладает рядом преимуществ, таких как отсутствие необходимости конструктивных изменений системы питания и регулировок. Это объясняется тем, что такое СТ по своим свойствам приближается к свойствам ДТ [4].

В исследованиях [5–9], проведенных ранее, были определены зависимости параметров рабочего цикла дизеля от доли содержания растительного масла в СТ без изменения исходных регулировок системы питания дизеля и без соблюдения требований сохранения нагрузочно-скоростных характеристик дизеля, установленных заводом-изготовителем. Таким образом в данных исследованиях было установлено изменение плотности заряда на впуске, коэффициента наполнения цилиндров дизеля, часового расхода воздуха и температуры отработавших газов. Однако определение параметров процесса впуска и газообмена тракторного дизеля при его работе на СТ с изменением исходных регулировок системы питания, обеспечивающих соблюдение нагрузочно-скоростных режимов работы дизеля, установленных заводом-изготовителем, представляет научный интерес.

Цель и задачи исследований

Основной целью настоящей работы является определение зависимостей параметров процесса впуска и газообмена дизеля от состава применяемого СТ. Научная новизна заключается в определении количественных показателей параметров процесса впуска и газообмена дизеля в зависимости от состава СТ.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить три задачи. Во-первых, выявить взаимосвязь между параметрами процесса впуска и газообмена дизеля и составом СТ. Во-вторых, определить количественные зависимости между составом СТ и параметрами процесса впуска и газообмена дизеля. В-третьих, экспериментально подтвердить полученные зависимости.

Материалы и методы

Теоретическая часть

На основании ГОСТа [10] при использовании СТ взамен ДТ для дизельного двигателя необходимо обеспечить условие идентичности зависимостей номинальной мощности N_e и крутящего момента $M_{кр}$ от частоты вращения коленчатого вала n и нагрузки p_e соответствующей работе на товарном ДТ, а именно: $N_e^{ДТ} = N_e^{СТ}$ и $M_{кр}^{ДТ} = M_{кр}^{СТ}$.

Выражения для определения N_e и $M_{кр}$ при работе дизеля на СТ и товарном ДТ соответственно определяются так:

$$N_e^{ДТ} = N_e^{СТ} = p_e \cdot n \cdot \left(\frac{V_d}{30 \cdot \tau} \right); \quad (1)$$

$$M_{кр}^{ДТ} = M_{кр}^{СТ} = p_e \cdot \left(\frac{3 \cdot 10^4}{\pi} \cdot \frac{V_d}{30 \cdot \tau} \right), \quad (2)$$

где p_e – среднее эффективное давление, МПа; V_d – литраж дизеля, л; n – частота вращения коленчатого вала дизеля, мин^{-1} ; τ – тактность дизеля; $\pi = 3,14$.

Анализ выражений (1) и (2) говорит о том, что при применении СТ вместо ДТ необходимо чтобы зависимость $p_e(n)$ была идентичной зависимости при использовании ДТ, а именно $p_e^{ДТ}(n) = p_e^{СТ}(n)$ [11]. Таким образом, удастся сохранить нагрузочный и скоростной режим работы дизеля, установленного заводом-изготовителем [11].

Показатели V_d , τ и π зависят от конструктивных параметров конкретного дизеля, и не зависят от свойств применяемого топлива, а величина n является задаваемой [12].

Таким образом, p_e при работе дизеля на ДТ и СТ определится так:

$$p_e^{ДТ}(n) = p_e^{СТ}(n) = \frac{\eta_e^{ДТ} \cdot H_u^{ДТ} \cdot \rho_k^{ДТ} \cdot \eta_v^{ДТ}}{l_0^{ДТ} \cdot \alpha^{ДТ}} = \frac{\eta_e^{СТ} \cdot H_u^{СТ} \cdot \rho_k^{СТ} \cdot \eta_v^{СТ}}{l_0^{СТ} \cdot \alpha^{СТ}}, \quad (3)$$

где $\eta_e^{ДТ}, \eta_e^{СТ}$ – эффективный КПД дизеля при его работе на ДТ и СТ; $H_u^{ДТ}, H_u^{СТ}$ – низшая расчетная удельная теплота сгорания ДТ и СТ, МДж/кг; $\rho_k^{ДТ}, \rho_k^{СТ}$ – плотность заряда во впускном коллекторе при работе дизеля на ДТ и СТ, кг/м³; $\eta_v^{ДТ}, \eta_v^{СТ}$ – коэффициент наполнения цилиндров дизеля при работе на ДТ и СТ; $l_0^{ДТ}, l_0^{СТ}$ – теоретически необходимое количество воздуха для полного сгорания 1 кг ДТ и СТ, кг возд. / кг топл.; $\alpha^{ДТ}, \alpha^{СТ}$ – коэффициент избытка воздуха при работе дизеля на ДТ и СТ.

Преобразуя выражение (3), получим следующие зависимости:

$$\frac{p_e^{ДТ}(n)}{p_e^{СТ}(n)} = \frac{\eta_e^{ДТ} \cdot H_u^{ДТ} \cdot \rho_k^{ДТ} \cdot \eta_v^{ДТ} \cdot l_0^{СТ} \cdot \alpha^{СТ}}{\eta_e^{СТ} \cdot H_u^{СТ} \cdot \rho_k^{СТ} \cdot \eta_v^{СТ} \cdot l_0^{ДТ} \cdot \alpha^{ДТ}}. \quad (4)$$

Анализ выражения (4) говорит о том, что на соблюдение условия $p_e^{ДТ}(n) = p_e^{СТ}(n)$ оказывают влияние теплофизические свойства применяемого топлива, а именно H_u и l_0 , а также η_e , показывающий теплоиспользование применяемого топлива в дизеле [13]. Показатели α и η_v являются величинами, задаваемыми в зависимости от нагрузочного и скоростного режимов работы дизеля [13]. А величины ρ_k и η_v прежде всего зависят от конструктивно-технологических параметров дизеля [13].

Исходя из работ [14, 15] плотность заряда во впускном коллекторе определится как:

$$\rho_k = \frac{p_k \cdot 10^6}{R_b \cdot T_k}, \quad (5)$$

где p_k – давление во впускном коллекторе, МПа; T_k – температура воздуха во впускном коллекторе, К; R_b – удельная газовая постоянная воздуха, Дж/(кг·К).

Проанализировав выражение (5), можно сделать вывод о том, что на ρ_k не оказывает влияния свойства СТ, применяемое в дизеле, а все члены входящие в правую часть выражения, зависят от конструктивных особенностей системы впуска [14, 15], а также нагру-

зочно-скоростных режимов работы. Поэтому при замене применяемого ДТ на СТ в дизеле можно предположить что $\rho_k^{ДТ} = \rho_k^{СТ}$ на всех сопоставимых нагрузочно-скоростных режимах.

На основании работы [16] коэффициент наполнения цилиндров дизеля выразится, как:

$$\eta_v = \frac{T_k (\Phi_{доз} \cdot \varepsilon \cdot p_a - \Phi_{оч} \cdot p_r)}{(T_k + \Delta T) \cdot (\varepsilon - 1) p_k}, \quad (6)$$

где $\Phi_{доз}$ – коэффициент дозарядки цилиндров дизеля; $\Phi_{оч}$ – коэффициент очистки цилиндров дизеля; ε – геометрическая степень сжатия; p_a – давление свежего заряда в цилиндре в конце такта впуска, МПа; p_r – давление остаточных газов в цилиндре, МПа; ΔT – температура подогрева свежего заряда, К.

Входящие в выражение (6) такие показатели, как $\Phi_{доз}$, $\Phi_{оч}$, ε зависят от конструктивно-технологических параметров дизеля [16] и не зависят от свойств применяемого топлива.

Давление свежего заряда в цилиндре дизеля в конце такта впуска [16] можно определить так:

$$p_a = p_k - \Delta p_a, \quad (7)$$

где Δp_a – потери давления за счет сопротивления впускной системы и затухания скорости движения заряда в цилиндре, МПа.

Эти потери можно определить так [16]:

$$\Delta p_a = \frac{\omega_{вп}^2 \rho_k \cdot 10^{-6}}{2} (\beta^2 + \xi_{вп}), \quad (8)$$

где $\omega_{вп}$ – средняя скорость движения заряда в сечении впускного клапана, м/с; β – коэффициент затухания скорости движения заряда в рассматриваемом сечении цилиндра; $\xi_{вп}$ – коэффициент сопротивления впускной системы, отнесенный к наиболее узкому ее сечению.

Среднюю скорость движения заряда определили так [16]:

$$\omega_{вп} = \frac{nR\pi^2 D^2 \sqrt{1 + \lambda^2}}{120 f_{вп}}, \quad (9)$$

где R – радиус кривошипа, м; D – диаметр поршня, м; λ – кинематический показатель двигателя; $f_{вп}$ – площадь сечение клапана, м².

В результате после преобразований давление свежего заряда в цилиндре дизеля в конце такта впуска с учетом выражений (8) и (9) получили:

$$p_a = p_k - \frac{\left(\frac{nR\pi^2 D^2 \sqrt{1 + \lambda^2}}{120 f_{вп}} \right)^2 \rho_k \cdot 10^{-6}}{2} (\beta^2 + \xi_{вп}). \quad (10)$$

Анализ выражения (10) свидетельствует о том, что входящие в его состав члены уравнения зависят от конструктивно-технологических ($R, D, \lambda, f_{\text{вп}}$) и нагрузочно-скоростных ($\omega_{\text{вп}}, \beta, \zeta_{\text{вп}}$) показателей и не зависят от свойств применяемого СТ.

Давление остаточных газов в цилиндре дизеля можно определить так [16]:

$$p_r = p_k \left(1,035 + \frac{(p_{r_N} - 1,035 p_k) n^2}{p_k n_N^2} \right), \quad (11)$$

где p_{r_N} – давление остаточных газов на номинальном режиме, МПа; n_N – частота вращения коленчатого вала дизеля на номинальном режиме, мин⁻¹.

Проанализировав выражение (11), с учетом ранее проведенных исследований [16] можно сделать вывод о том, что входящие в его состав значения членов уравнения, полученные при работе на чистом ДТ, идентичны значениям, полученным при работе на СТ.

Температура подогрева свежего заряда определена так [16]:

$$\Delta T = \frac{\Delta T_N (110 - 0,0125n)}{110 - 0,0125n_N}, \quad (12)$$

где ΔT_N – температура подогрева свежего заряда при номинальном режиме работы дизеля, К.

На основании ранее проведенных исследований [17] значения температуры подогрева свежего заряда при номинальном режиме работы дизеля на чистом ДТ идентичны значениям на СТ. В связи с вышесказанным можно сделать предположение о том, что $\eta_v^{\text{ДТ}} = \eta_v^{\text{СТ}}$ на всех сопоставимых нагрузочно-скоростных режимах.

В итоге произведение $\rho_k^{\text{ДТ}} \cdot \eta_v^{\text{ДТ}} = \rho_k^{\text{СТ}} \cdot \eta_v^{\text{СТ}} = \text{const}$ показывает, что количество свежего заряда остается постоянным при использовании разных СТ. В связи с вышесказанным для различных СТ также сохраняется взаимозависимость параметров ρ_k и η_v , выраженная часовым расходом воздуха для дизеля:

$$G_B = \frac{\rho_k \cdot \eta_v \cdot V_d \cdot n}{33,6}. \quad (13)$$

Анализ выражения (13) показывает, что расход воздуха дизелем зависит только конструктивно-технологических параметрах дизеля и не зависит от применяемого СТ.

Экспериментальная часть

В ранее проведенных стендовых испытаниях тракторного дизеля Д-245.5С размерностью 4ЧН 11,0/12,5 [18, 19], согласно ГОСТ [10] были получены внешняя скоростная и две нагрузочные характеристики при $n = 1800$ мин⁻¹ и $n = 1400$ мин⁻¹, соответствующие номинальной мощности и максимальному крутящему моменту на следующих составах СТ: ДТ – 80 % + РМ – 20 %, ДТ – 45 % + РМ – 55 %, ДТ – 20 % + РМ – 80 %, а также чистом ДТ. При проведении стендовых испытаний рассматриваемого дизеля была произведена процедура перерегулировки топливного насоса высокого давления (ТНВД) для обеспечения выполнения условия соответствия нагрузочно-скоростного режима, установленного заводом-изготовителем. В результате были определены эффективные показатели указанного дизеля в зависимости от n и p_e . При обработке экспериментальных данных абсолютная погрешность измерений, определенная согласно работе [10], составила 2 %, что в свою очередь свидетельствует о достоверности полученных показателей [18, 19].

Результаты и обсуждение

Для определения влияния состава СТ на G_B , η_v и ρ_k в зависимости от n и p_e были обработаны полученные характеристики тракторного дизеля Д-245.5С и в результате построены искомые зависимости (рис.). Проведенный анализ полученных зависимостей, представленных на рисунке, позволяет сделать вывод о том, что состав СТ практически не оказывает влияния на характеристики G_B , η_v и ρ_k от n и p_e , что, в свою очередь, подтверждает ранее сделанное предположение. Полученные зависимости с высокой долей вероятности могут быть определены выражениями (5), (6), (13) для конкретного взятого дизеля с учетом его технических характеристик и режимов работы.

При увеличении n от 1400 до 1800 мин⁻¹ (рис., а) наблюдалось повышение G_B с 276 до 394 кг/ч, ρ_k – с 1,44 до 1,70 кг/м³ соответственно; при дальнейшем увеличении n от 1800 до 2000 мин⁻¹ происходило снижение G_B с 394 до 322 кг/ч, ρ_k – с 1,70 до 1,49 кг/м³ соответственно, а значения η_v , напротив, снижались с 0,97 до 0,77 во всем диапазоне n . С увеличением p_e с 0,2 до 1,2 МПа (рис., б) при $n = 1400$ мин⁻¹ наблюдалось повышение G_B с 187 до 276 кг/ч, ρ_k – с 1,29 до 1,44 кг/м³ и η_v – с 0,73 до 0,97, а при

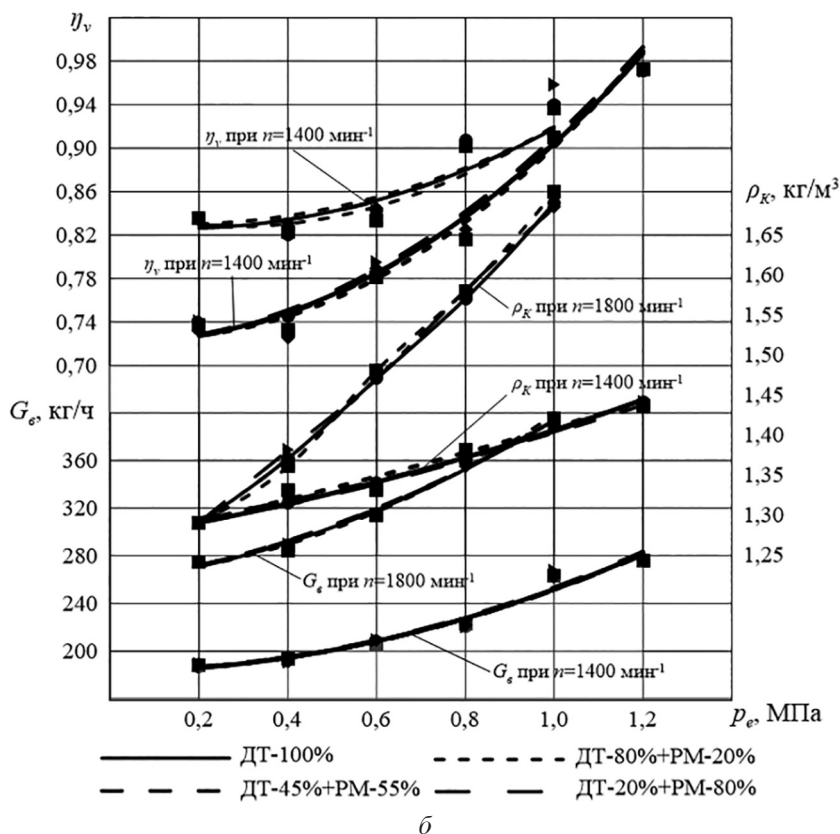
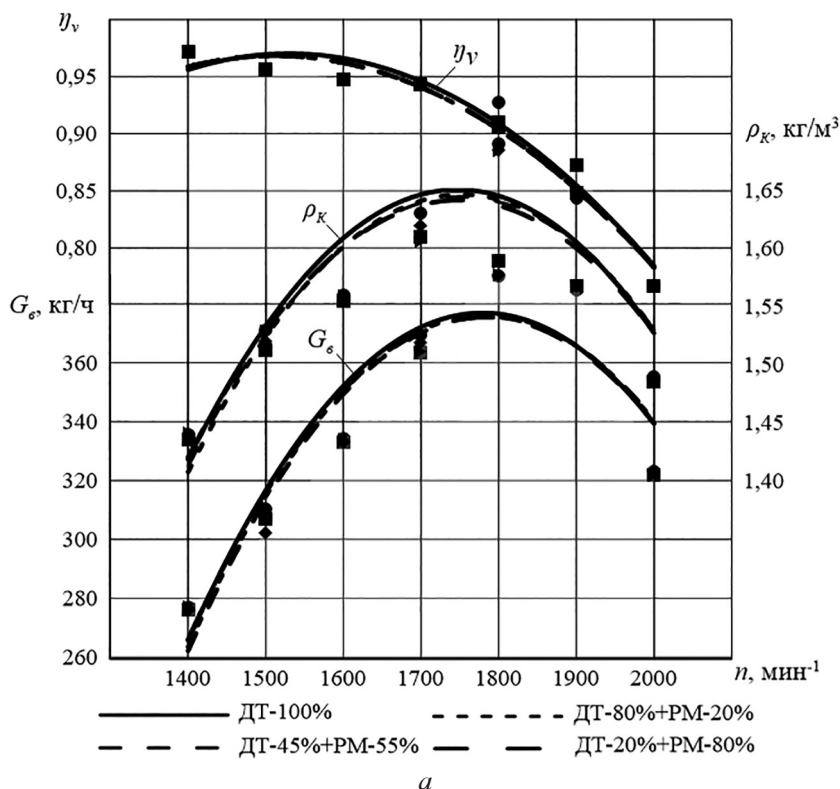


Рис. Зависимости часового расхода воздуха G_e , коэффициента наполнения η_v и плотности заряда на впуске дизеля ρ_k :

a – от частоты вращения коленчатого вала n ; b – нагрузки p_e при частотах вращения коленчатого вала $n = 1800$ мин⁻¹ и $n = 1400$ мин⁻¹ на разных составах СТ

Fig. Dependences of the hourly air consumption G_e , filling ratio η_v and charge density at the diesel inlet ρ_k : a – from the frequency of rotation of the crankshaft n ; b – loads p_e at crankshaft rotation speeds $n = 1800$ min⁻¹ and $n = 1400$ min⁻¹ on different MF compositions

$n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ G_b – с 274 до 394 кг/ч, ρ_k – с 1,29 до 1,69 кг/м³ и η_v – с 0,83 до 0,91 соответственно.

Выводы

1. В ходе проведенных исследований были получены зависимости параметров процесса впуска и газообмена дизеля Д-245.5С2 от концентрации РМ в СТ.

2. Теоретически обосновано и экспериментально подтверждено, что состав СТ практически не оказывает влияния на характеристики часового расхода воздуха G_b , коэффициента наполнения η_v и плотности заряда на впуске ρ_k в зависимости от частоты вращения коленчатого вала n и нагрузки p_e дизеля.

3. Экспериментально установлено что с увеличением n от 1400 мин⁻¹ до 1800 мин⁻¹ на всех составах СТ повышались G_b с 276 до 394 кг/ч, ρ_k – с 1,44 до 1,70 кг/м³, а при увеличении n от 1800 до 2000 мин⁻¹, снижались G_b с 394 до 322 кг/ч, ρ_k – с 1,70 до 1,49 кг/м³ и η_v – с 0,97 до 0,77. С увеличением p_e с 0,2 до 1,2 МПа на всех составах СТ повышались при $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$: G_b с 187 до 276 кг/ч, ρ_k – с 1,29 до 1,44 кг/м³ и η_v – с 0,73 до 0,97, при $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ G_b – с 274 до 394 кг/ч, ρ_k – с 1,29 до 1,69 кг/м³ и η_v – с 0,83 до 0,91, соответственно.

Литература

1. Александров А.А., Архаров И.А., Багров В.В. [и др.] Альтернативные топлива для двигателей внутреннего сгорания / под редакцией А.А. Александрова, В.А. Маркова. М.: ООО НИЦ «Инженер», ООО «Онико-М», 2012. 790 с. ISBN 978-5-7013-0140-3.
2. Марков В.А., Девянин С.Н., Зыков С.А., Гайдар С.М. Биотоплива для двигателей внутреннего сгорания. М.: НИЦ «Инженер», 2016. 292 с.
3. Тагиров Р.И., Семенова Е.К., Саттаров М.М. [и др.] Рапсовое масло как альтернатива дизельному моторному топливу // Вестник науки. 2019. Т. 3. № 6 (15). С. 450–454.
4. Марков В.А., Чайнов Н.Д., Лобода С.С. Физико-химические свойства нефтяных моторных топлив с добавками растительных масел и их влияние на показатели дизеля // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2018. № 5 (122).
5. Сидоров Е.А., Уханов А.П. Экспериментальная оценка влияния сурепно-минерального топлива на показатели рабочего процесса дизеля // Нива Поволжья. 2012. № 4.
6. Сидоров Е.А., Уханов А.П. Особенности работы дизеля на сурепно-минеральном топливе в режиме холостого хода // Нива Поволжья. 2013. № 3 (28).
7. Денежко Л.В., Новопашин Л.А., Асанбеков К.А. Исследование рапсовых смесей различного состава в тракторном дизеле // АБУ. 2015. № 1 (131).
8. Новопашин Л.А., Асанбеков К.А., Денежко Л.В., Садов А.А. Исследование показателей работы тракторного дизеля при использовании минерально-сафлоровых смесей // АБУ. 2017. № 1 (155).
9. Уханов А.П., Уханова Ю.В. Влияние биодобавки к минеральному дизельному топливу на показатели тракторного дизеля // Научное обозрение. 2017. №. 15. С. 55–62.
10. ГОСТ 18509–88. Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний (с Изменением № 1).
11. Плотников С.А., Бузиков С.В., Ланских Ю.В., Карташевич А.Н. Совершенствование методов оценки характера рабочего процесса внутреннего сгорания // Серия конференций ИОР: Наука о Земле и окружающей среде (Красноярск, 18–20 ноября 2020 года) / Красноярская научно-техническая ратуша. Красноярск, Российская Федерация: ИОР Publishing Ltd, 2021. С. 52042. DOI: 10.1088/1755-1315/677/5/052042
12. Денежко Л.В., Новопашин Л.А., Кочетков П.В. Исследование применения смесевых топлив различного состава в автотракторных дизелях // ГЫЛЫМИ ХАБАРШЫСЫ = ВЕСТНИК НАУКИ. 2015. С. 74.
13. Салмин В.В., Долгова Л.А. Повышение точности и достоверности расчета основных параметров действительных процессов ДВС // Аллея науки. 2018. Т. 5. №. 6. С. 886–892.
14. Божко А.В. Повышение наполнения цилиндров тракторного дизеля Д-243 // Наука, образование и инновации в современном мире (НОИ-2019). 2019. С. 71–74.
15. Шароглазов Б.А., Поваляев В.А. Расчетная оценка качества наполнения свежим зарядом цилиндров поршневого двигателя на стадии проектирования // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. 2008. №. 23 (123).
16. Стефановский А.Б. Особенности расчета коэффициентов наполнения и остаточных газов при анализе рабочего цикла дизеля с наддувом и продувкой // Ползуновский вестник. 2017. № 3. С. 17–21.
17. Бузиков Ш.В. Улучшение эксплуатационных показателей дизельных двигателей сельскохозяйственных машин путем применения оптимальных составов жидких альтернативных топлив // Чтения академика В.Н. Болтинского: семинар (Москва, 20–21 января 2021 года). М.: Общество с ограниченной ответственностью «Сам Полиграфист», 2021. С. 180–185.

18. Бузиков Ш.В., Плотников С.А., Козлов И.С. Оптимизация добавки рапсового масла в смешанном топливе, применяемом в тракторных дизелях // Вестник транспорта Поволжья. 2020. № 5 (83). С. 72–77.
19. Бузиков Ш.В., Плотников С.А., Козлов И.С. Оптимизация состава смешанного топлива для применения в тракторных дизелях // Труды НАМИ. 2021. № 1 (284). С. 16–24.
DOI: 10.51187/0135-3152-2021-1-16-24

References

1. Aleksandrov A.A., Arkharov I.A., Bagrov V.V. [i dr.] Al'ternativnyye topliva dlya dvigateley vnutrennego sgoraniya [Alternative fuels for internal combustion engines]. Pod redaktsiyey A.A. Aleksandpova, V.A. Markova. Moscow: OOO NITS «Inzhener», OOO «Oniko-M» Publ., 2012. 790 p. ISBN 978-5-7013-0140-3.
2. Markov V.A., Devyanin S.N., Zykov S.A., Gaydar S.M. Biopliva dlya dvigateley vnutrennego sgoraniya [Biofuels for internal combustion engines]. Moscow: NITS «Inzhener» Publ., 2016. 292 p.
3. Tagirov R.I., Semenova YE.K., Sattarov M.M. [i dr.] Rapeseed oil as an alternative to diesel motor fuel. Vestnik nauki. 2019. Vol. 3. No 6 (15), pp. 450–454 (in Russ.).
4. Markov V.A., Chaynov N.D., Loboda S.S. Physicochemical properties of petroleum motor fuels with vegetable oil additives and their effect on diesel performance. Vestnik MGTU im. N.E. Bauman. Ser. Mashinostroyeniye. 2018. No 5 (122) (in Russ.).
5. Sidorov Ye.A., Ukhanov A.P. Experimental assessment of the influence of rape-mineral fuel on the performance of a diesel engine. Niva Povolzh'ya. 2012. No 4 (in Russ.).
6. Sidorov Ye.A., Ukhanov A.P. Features of operation of a diesel engine running on rape-mineral fuel in idle mode. Niva Povolzh'ya. 2013. No 3 (28) (in Russ.).
7. Denezhko L.V., Novopashin L.A., Asanbekov K.A. Investigation of rapeseed mixtures of various compositions in a tractor diesel engine. AVU. 2015. No 1 (131) (in Russ.).
8. Novopashin L.A., Asanbekov K.A., Denezhko L.V., Sadv A.A. Study of the performance indicators of a tractor diesel engine when using mineral-safflower mixtures. AVU. 2017. No 1 (155) (in Russ.).
9. Ukhanov A.P., Ukhanova Yu.V. Influence of bioadditives to mineral diesel fuel on the performance of a tractor diesel engine. Nauchnoye obozreniye. 2017. No. 15, pp. 55–62 (in Russ.).
10. GOST 18509–88 Dizeli traktornyye i kombaynovyye. Metody stendovyykh ispytaniy (s Izmeneniyem № 1) [Tractor and combine diesel engines. Bench test methods (with Amendment No. 1)].
11. Plotnikov S.A., Buzikov S.V., Lanskiy Yu.V., Kartashevich A.N. Improvement of methods for assessing the nature of the working process of internal combustion. Seriya konferentsiy IOP: Nauka o Zemle i okruzhayushchey srede, Krasnoyarsk, 18–20 noyabrya 2020 goda. Krasnoyarskaya nauchno-tekhnicheskaya ratusha. Krasnoyarsk, Rossiyskaya Federatsiya [IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Krasnoyarsk, 18–20 November 2020 / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall. Krasnoyarsk, Russian Federation]: IOP Publishing Ltd, 2021, pp. 52042 (in Russ.). DOI: 10.1088/1755-1315/677/5/052042
12. Denezhko L.V., Novopashin L.A., Kochetkov P.V. Investigation of the use of mixed fuels of various compositions in automotive diesel engines. FYLYMI KHABARSHYSY VESTNIK = NAUKI. 2015, pp. 74 (in Russ.).
13. Salmin V.V., Dolgova L.A. Improving the accuracy and reliability of the calculation of the main parameters of the actual processes of the internal combustion engine. Alleya nauki. 2018. Vol. 5. No. 6, pp. 886–892 (in Russ.).
14. Bozhko A.V. Increasing the filling of the cylinders of the D-243 tractor diesel engine. Nauka, obrazovaniye i innovatsii v sovremennom mire (NOI-2019). 2019, pp. 71–74 (in Russ.).
15. Sharoglazov B.A., Povalyayev V.A. Calculated assessment of the quality of filling the cylinders of a piston engine with a fresh charge at the design stage. Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Mashinostroyeniye. 2008. No. 23 (123) (in Russ.).
16. Stefanovskiy A.B. Peculiarities of calculating the filling factors and residual gases in the analysis of the working cycle of a diesel engine with supercharging and purging. Polzunovskiy vestnik. 2017. No 3, pp. 17–21 (in Russ.).
17. Buzikov Sh.V. Improving the performance of diesel engines in agricultural machinery through the use of optimal formulations of liquid alternative fuels. Chteniya akademika V.N. Boltinskogo: seminar, Moscow, 20–21 yanvarya 2021 g. [Readings of Academician Vasiliy N. Boltinskiy: seminar, Moscow, January 20–21, 2021]. Moscow: Obshchestvo s ogranichennoy otvetstvennost'yu «Sam Poligrafist» Publ., 2021, pp. 180–185 (in Russ.).
18. Buzikov Sh.V., Plotnikov S.A., Kozlov I.S. Optimization of rapeseed oil addition in mixed fuel used in tractor diesel engines. Vestnik transporta Povolzh'ya. 2020. No 5 (83), pp. 72–77 (in Russ.).
19. Buzikov Sh.V., Plotnikov S.A., Kozlov I.S. Optimization of the compound fuel composition for use in tractor diesel engines. Trudy NAMI. 2021. No 1 (284), pp. 16–24 (in Russ.). DOI: 10.51187/0135-3152-2021-1-16-24