

УДК 629.113

А. П. ПОЛЯКОВ, д-р техн. наук, проф. ВНТУ, Вінниця;
О. О. ГАЛУЩАК, асп. ВНТУ;
Д. О. ГАЛУЩАК, асп. ВНТУ;

**МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ АВТОМОБІЛЯ З
ДИЗЕЛЬНИМ ДВИГУНОМ ПРИ ВИКОРИСТАННІ СИСТЕМИ
ЖИВЛЕННЯ З ДИНАМІЧНИМ РЕГУЛЮВАННЯМ ВІДСОТКОВОГО
СКЛАДУ СУМІШІ ПАЛИВ**

В даній статті представлено методику визначення показників автомобіля з дизельним двигуном при живленні сумішшю дизельного та біодизельного палив з використанням динамічного регулювання відсоткового складу суміші. Система живлення з динамічним регулюванням відсоткового складу суміші палив забезпечує зміну співвідношення дизельного та біодизельного палив в суміші залежно від режиму роботи двигуна, що в свою чергу залежить від швидкості, умов руху та завантаження автомобіля.

Ключові слова: біодизельне паливо, суміш палив, динамічне регулювання відсоткового складу, робочі процеси двигуна.

Вступ. Одним із найбільших споживачів рідких нафтових палив є автомобільний транспорт, який в свою чергу є значним забрудником навколишнього середовища. З метою зменшення залежності від нафтових палив та покращення екологічних показників автомобілів проводиться багато досліджень по використанню альтернативних палив. Біодизельне паливо (БП) є одним з найбільш перспективним заміників традиційного палива на основі нафти. Україна має потужний потенціал у виробництві біопалив, зокрема біодизельного, починаючи від вирощування сировини - закінчуючи кінцевим продуктом (біодизельним паливом). Сировиною для виробництва біодизельного палива можуть бути різні рослинні олії, в умовах держави доступними є ріпакова та відпрацьована соняшникова.

Аналіз основних досягнень і літератури. Використання БП для дизелів досліджується вже багато років, є досить багато напрацювань в цьому напрямку. В роботах [1-8] наведено результати дослідження впливу на техніко-економічні та екологічні показники дизеля використання чистого БП та його суміші з ДП. Але більшість досліджень проводились при використанні сумішей ДП та БП з постійним відсотковим складом. Виробники автомобілів [9-10] теж займаються дослідженням використання біодизельного палива. Ними розробляються та впроваджуються в виробництво спеціальні двигуни, пристосовані до більш в'язкого, густого та агресивнішого БП.

При використанні сумішей з малим відсотковим вмістом БП не повністю реалізуються переваги біодизельного палива, а при використанні сумішей з великим відсотковим вмістом БП проявляються його негативні сторони. Тому доцільно використовувати системи живлення зі змінним відсотковим складом суміші палив в залежності від навантаження на двигун автомобіля.

Матеріали досліджень. Використання біодизельного палива впливає на протікання робочих процесів, в першу чергу на впорскування, сумішоутворення та горіння палива. Відповідно тривалість згорання палива залежить від відсоткового складу суміші палив та циклової подачі. При малих навантаженнях та низьких частотах обертання колінчастого валу зміна тривалості згорання палива не має великого впливу

на роботу дизеля. При збільшенні навантаження циклова подача палива збільшується, що збільшує тривалість згорання палива. При збільшенні частоти обертання колінчастого валу, допустимий час для згорання палива зменшується. Тривалість згорання суміші палив з великим вмістом БП при великій цикловій подачі та високій частоті обертання колінчастого валу набуває значень за яких вона може не встигати повністю згоріти за робочий хід. Це спричиняє зменшення потужності, збільшення витрати палива, збільшення димності відпрацьованих газів та перегрівання двигуна.

Для визначення раціонального складу суміші палив була розроблена методика визначення показників автомобіля з дизельним двигуном при використанні системи живлення з динамічним регулюванням відсоткового складу суміші ДП та БП. Для реалізації можливості зміни відсоткового складу палива під час руху автомобіля було розроблено систему живлення дизеля з динамічним регулюванням відсоткового складу суміші ДП та БП в залежності від зміни режимів роботи двигуна. Для оцінки ефективності використання системи живлення дизеля з динамічним регулюванням відсоткового складу суміші використовується методика розрахунку показників автомобіля при переведенні його двигуна на роботу на суміші ДП та БП.

Правильна організація процесу згорання палива дає можливість використати максимальну кількість енергії для роботи двигуна, відповідно й руху автомобіля. При повному згоранні палива в циліндрі двигуна ефективний крутний момент пропорційний цикловій подачі палива.

Для забезпечення протікання робочих процесів дизеля, в електронному блоці керування розраховується необхідний відсотковий склад палива, для чого розраховуються тривалості впорскування, випаровування та горіння суміші палив.

Одним із основних розрахунків параметрів двигуна є визначення тривалості впорскування $\varphi_{впр}$, періоду затримки запалення $\Delta\varphi_i$, тривалості випаровування та згорання великих крапель суміші палив φ_z та загальної тривалості згорання.

Ефективний крутний момент є функцією від циклової подачі суміші палив q_u , її відсоткового складу $n_{БП}$ та частоти обертання колінчастого валу $n_{кв}$:

$$M_{ек} = f(q_u; n_{БП}; n_{кв}) \quad (1)$$

Для ефективної роботи дизеля тривалості впорскування, періоду затримки запалення, випаровування та згорання великих крапель суміші палив повинні знаходитись в допустимих межах. Регулювання відбувається шляхом зміни відсоткового складу суміші палив.

Тривалість горіння визначається за наступною формулою, в градусах повороту колінчастого валу [11]:

$$\varphi_z = \varphi_{впр} - \Delta\varphi_i + \varphi_z, \quad (2)$$

Тривалість випаровування та згорання великих крапель, в градусах повороту колінчастого валу:

$$\tau_u = \frac{A_z}{b_{u.m} \alpha_{нов}^{0,6}}, \quad (3)$$

$$\varphi_z = 6n_{кв}\tau_u, \quad (4)$$

де $A_z = 2,4$ - константа часу випаровування великих крапель;
 $b_{u.m}$ - відносна теоретична константа випаровування палива, 1/с;
 $\alpha_{нов}$ - коефіцієнт надлишку повітря.
 Відносна теоретична константа випаровування палива, 1/с:

$$b_{u.m} = \frac{K}{d_{32}^2}, \quad (5)$$

де K - константа випаровування, м²/с;
 d_{32} - середній діаметр крапель впорскнутого палива, мкм.

Середній діаметр крапель впорскнутого палива (діаметр Саутера) впливає на відносну теоретичну константу випаровування палива, що в свою чергу впливає на тривалість згорання палива, яке впорскнуто в циліндр. На середній діаметр впорскнутого в циліндр палива впливає густина, в'язкість і коефіцієнт поверхневого натягу. При використанні суміші палив ці показники відрізняються від аналогічних показників ДП. Тому для забезпечення фізико-хімічних показників БП близьких до показників ДП доцільно використовувати підігрів БП.

Залежність тривалості впорскування від циклової подачі суміші палив визначається в секундах та в градусах кута повороту колінчастого валу [11]:

$$\tau_{впр} = \frac{q_u}{\mu_c \cdot f_c \cdot \sqrt{2\rho_n} \cdot \sqrt{\Delta P}} \quad (6)$$

$$\varphi_{впр} = 6n_{кв} \tau_{впр} \quad (7)$$

де μ_c - коефіцієнт витрати прохідних перетинів соплових отворів;
 f_c - площа поперечного перерізу соплових отворів, м²;
 ΔP - різниця між тиском впорскування і тиском газів в циліндрі, МПа;
 ρ_n - густина суміші палив, кг/м³.

При розрахунку робочих процесів роботи двигуна для суміші палив визначається період затримки запалення в градусах кута повороту колінчастого валу:

$$\Delta\varphi_i = (0,36 + 0,22 \cdot C_n) \times \left(\exp \left(Ea \left(\frac{1}{R \cdot T_n \cdot \varepsilon^{n_1 - 1}} - \frac{1}{17190} \right) + \left(\frac{21,2}{P_n \cdot \varepsilon^{n_1 - 12,4}} \right)^{0,63} \right) \right) \quad (8)$$

де C_n - середня швидкість поршня, м/с;
 E_a - енергія активацій палива, кДж/моль;
 R - універсальна газова стала, Дж/кг·К;
 T_n - температура газів в момент початку впорскування, К;
 n_1 - показник політропи стиску;
 P_n - тиск газів в момент початку впорскування, МПа.

При русі автомобіля на нього здійснюють вплив різні сили [12], сума моментів яких представлено в рівнянні:

$$M_{ек} = M_f + M_w \pm M_j \pm M_\alpha, \quad (9)$$

де $M_{ек}$ - ефективний крутний момент двигуна Н;
 M_f - момент сили опору кочення коліс, Н;
 M_w - момент сили опору повітря, Н;
 M_j - момент сили інерції автомобіля, Н;
 M_α - момент сили опору підйому, Н.
 Ефективний крутний момент двигуна, приведений до ведучих коліс автомобіля:

$$M_{ек} = M_e \cdot i_n \cdot i_0 \cdot i_p \cdot \eta_{mp}, \quad (10)$$

де i_n, i_0, i_p - передаточне число n -ої передачі, головної та роздавальної, відповідно;
 η_{mp} - ККД трансмісії.
 Моменти сил, що діють на автомобіль визначаються за відомими з теорії автомобіля рівняннями [12], підставивши їх в (14) отримаємо:

$$M_e \cdot i_n \cdot i_0 \cdot i_p \cdot \eta_{mp} = G_a \cdot (f \cdot \cos\alpha \pm \sin\alpha) \cdot r_\kappa + F_w \cdot k_w \cdot V^2 \cdot r_\kappa \pm m_a \cdot \delta_{об} \cdot \frac{dV}{dt} \cdot r_\kappa, \quad (11)$$

де G_a - вага автомобіля, Н;
 f - коефіцієнт опору кочення, який залежить від типу дороги;
 α - кут повздовжнього нахилу дороги, град;
 r_κ - динамічний радіус колеса, м;
 F_w - лобова площа автомобіля, м²;
 k_w - коефіцієнт опору повітря, кг/м³;
 V - швидкість руху автомобіля, м/с;
 m_a - маса автомобіля, кг;
 $\delta_{об}$ - коефіцієнт урахування впливу інерції обертових мас автомобіля;
 $\frac{dV}{dt}$ - прискорення автомобіля, м/с².

Отже, рух автомобіля можна описати рівнянням:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{M_e \cdot i_n \cdot i_0 \cdot i_p \cdot \eta_{mp} - G_a \cdot (f \cdot \cos\alpha \pm \sin\alpha) \cdot r_\kappa - F_w \cdot k_w \cdot V^2 \cdot r_\kappa}{m_a \cdot \delta_{об} \cdot r_\kappa}, \quad (12)$$

Годинна витрата палива та годинний викид сажі [13] автомобіля:

$$G_{нал} = \frac{1}{2} \cdot n_{кв} \cdot i_\psi \cdot q_\psi, \quad (13)$$

$$G_C = 0,0001 \cdot K^2 \cdot (1 - 0,9758 \cdot \frac{G_{нал}}{G_{нов}}) \cdot \frac{G_{нов}}{\rho_{нов}}, \quad (14)$$

де $n_{кв}$ - частота обертів колінчастого валу двигуна, $хв^{-1}$;
 K - димність відпрацьованих газів, $м^{-1}$;
 $G_{пал}$, $G_{пов}$ - годинні витрати палива та повітря, відповідно, $кг/год$.

При рівномірному русі автомобіля його двигун працює на суміші палив, склад якої не змінюється з часом. Якщо дорожні умови викликають збільшення моменту навантаження на автомобіль (наприклад початок підйому) циклова подача палива збільшується, відповідно тривалість згорання палива теж збільшується, і коли вона перевищує допустиме значення, вміст БП в суміші необхідно зменшувати. При зменшенні моменту навантаження на автомобіль (наприклад початок спуску) циклова подача палива зменшується, тривалість згорання палива зменшується, тому вміст БП в суміші доцільно збільшувати. При русі автомобіля з малим навантаженням циклова подача палива мала, відповідно і тривалість згорання палива теж мала, це дає можливість використовувати суміш палив з великим вмістом БП.

При русі автомобіля на максимальних навантаженнях циклова подача палива максимальна, тривалість згорання близьке до максимально допустимої. За такого режиму роботи двигуна буде використовуватись ДП або суміші з малим вмістом БП. При роботі двигуна автомобіля обирається склад палива, який забезпечить нормальний процес згорання, за умови максимального використання БП.

Висновки. Методика визначення показників автомобіля з дизельним двигуном при використанні системи живлення з динамічним регулюванням відсоткового складу суміші ДП та БП дозволяє визначити раціональний склад суміші залежно від швидкості, умов руху та завантаження автомобіля.

Система живлення дизеля з динамічним регулюванням відсоткового складу суміші палив забезпечує зміну співвідношення БП та ДП в суміші залежно від режиму роботи двигуна. Для забезпечення протікання робочих процесів двигуна, в електронному блоці керування розраховується тривалість впорскування палива, тривалість затримки займання палива та тривалість горіння палива. Тривалість впорскування та горіння палива залежить від циклової подачі палива та частоти обертання колінчастого валу двигуна, що в свою чергу залежить від швидкості, умов руху та завантаження автомобіля. Співставляючи показники робочого процесу в електронному блоці керування визначається відсотковий склад палива, необхідний для поточних умов руху автомобіля, за умови максимального використання БП.

Список літератури: 1. *Jindal S.* Effect of injection timing on combustion and performance of a direct injection diesel engine running on Jatropa methyl ester / *S. Jindal* – International journal of energy and environment/ Volume 2, Issue 1, 2011 P. 113-122. 2. *Семенов В. Г.* Використання біодизельного палива у двигунах сільсько-господарського призначення / *В.Г. Семенов, А. І. Атамаєв* – Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства. – Харків: ХНТУСГ, 2009. – Вип. 77. – С. 375–379. 3. *Атамась А. І.* Підвищення екологічних показників дизельного автомобіля під час використання біодизельного палива / *А.І. Атамась, В. Ф. Шапко, С. В. Шапко* – Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. Випуск 3/2012 (74). С. 126-130. 4. *Vozbas Kahraman* Biodiesel as an alternative motor fuel: Production and policies in the European Union. [електронний ресурс] / *Vozbas Kahraman* – Published by Elsevier Ltd. p.4, 2005. 5. *Звонов В. А.* Исследование эффективности применения в дизельных двигателях топливных смесей и биотоплив / *Звонов В. А., Козлов А. В., Теренченко А. С.* - Российский химический журнал. – 2008. – Т. LII, № 6. – С. 147. 6. *Девянин С. Н.*

Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей / С. Н. Девянин, В. А. Марков, В. Г. Семенов – Харьков: Новое слово, 2007. – 600 с. **7.** *Jinlin Xuea* Effect of biodiesel on engine performances and emissions / *Jinlin Xuea, Tony E. Grift, Alan C. Hansena* - Renewable and Sustainable Energy Reviews 15 (2011) 1098–1116 **8.** *Войтов В. А.* Техніко-експлуатаційні та екологічні показники дизельних двигунів при застосуванні біодизеля / *В. А. Войтов, М. С. Даценко, М. В. Карнаух* – Техніка і технологія АПК. – 2009. – № 1. – С. 13–18. **9.** *R8 готовий працювати на біодизелі.* // Режим доступу до журн. : http://www.lamborghini-tractors.com.ua/models/model-r8/page_1364919060.htm **10.** *Scania delivers 220 biodiesel-powered trucks to leading Austrian transport company* // Режим доступу до журн. : http://www.scania.com/Images/wkr0006_tcm40-408561.pdf **11.** *Разлейцев Н. Ф.* Моделирование и оптимизация процесса сгорания в дизелях / *Н. Ф. Разлейцев* // Харьков: Вища школа, 1980. -169с. **12.** *Умняшкин В. А.* Теория автомобиля: учеб. пособие / *В. А. Умняшкин, Н. М. Филькин, Р. С. Музафаров.* - Ижевск: Изд-во ИЖГТУ, 2006. - 272 с. **13.** *Гутаревич Ю. Ф.* Охрана окружающей среды от загрязнения выбросами двигателей/ *Ю. Ф. Гутаревич* - К.: Урожай, 1989. - 224 с.

Bibliography (transliterated):**1.** *Jindal S.* Effect of injection timing on combustion and performance of a direct injection diesel engine running on Jatropha methyl ester / *S. Jindal* – International journal of energy and environment/ Vol 2, Issue 1, 2011 P. 113-122. **2.** *Semenov V. H.* Vykorystannia biodyzelnoho palyva u dvyhunakh silskohospodarskoho pryznachennia / *V.H. Semenov, A. I. Atamaiev* – Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva. – Kharkov: KhNTUSH, 2009. – V. 77. – p. 375–379. **3.** *Atamas A. I.* Pidvyshchennia ekolohichnykh pokaznykiv dyzelnoho avtomobilia pid chas vykorystannia biodyzelnoho palyva / *A. I. Atamas, V. F. Shapko, S. V. Shapko* – Visnyk KrNU imeni Mykhaila Ostrohradskoho. Vypusk 3/2012 (74). p. 126-130. **4.** *Bozbas Kahraman* Biodiesel as an alternative motor fuel: Production and policies in the European Union. [електроний ресурс] / *Bozbas Kahraman* – Published by Elsevier Ltd. p.4, 2005. **5.** *Zvonov V. A.* Yssledovanye efektyvnosti pryimeneniya v dyzelnykh dvyhateliakh toplivnykh smesei y byotoplyv / *Zvonov V. A., Kozlov A. V., Terenchenko A. S.* - Rossiyskiy khymicheskiy zhurnal. – 2008. – T. LII, No 6. – p. 147. **6.** *Devyanin S. N.* Rastitel'nye masla i topliva na ikh osnove dlya dizel'nykh dvigatelei / *S. N. Devyanin, V. A. Markov, V. G. Semenov* – Kharkov: Novoe slovo, 2007. – 600 p. **7.** *Jinlin Xuea* Effect of biodiesel on engine performances and emissions / *Jinlin Xuea, Tony E. Grift, Alan C. Hansena* - Renewable and Sustainable Energy Reviews 15 (2011) 1098–1116 **8.** *Voitov V. A.* Tekhniko-ekspluatatsiini ta ekolohichni pokaznyky dyzelnykh dvyhuniv pry zastosuvanni biodyzelia / *V. A. Voitov, M. S. Datsenko, M. V. Karnaukh* – Tekhnika i tekhnolohiia APK. – 2009. – No 1. – p. 13–18. **9.** *R8 hotovyi pratsiuvaty na biodyzeli.* Rezhym dostupu do zhurn.: http://www.lamborghini-tractors.com.ua/models/model-r8/page_1364919060.htm **10.** *Scania delivers 220 biodiesel-powered trucks to leading Austrian transport company* // Rezhym dostupu do zhurn.: <http://www.scania.com/Images/wkr0006tcm40-408561.pdf> **11.** *Razlejcev N. F.* Modelirovanie i optimizaciya processa sgoraniya v dizelyax / *N. F. Razlejcev* //Kharkov: Vishha shkola, 1980. -169p. **12.** *Umnyashkin V. A.* Teoriya avtomobilya: ucheb. posobie / *V. A. Umnyashkin, N. M. Fil'kin, R. S. Muzafarov.* - Izhevsk: Izd-vo IzhGTU, 2006. - 272 p. **13.** *Gutarevich Yu. F.* Okhrana okruzhayushchei sredy ot zagryazneniya vybrosami dvigatelei/ *Yu. F. Gutarevich* - K.: Urozhai, 1989. - 224 p.

Надійшла до редколегії 02.03.2015