



СИСТЕМА ПАЛИВОПОДАЧІ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА З ЕЛЕКТРОННИМ РЕГУЛЮВАННЯМ СКЛАДУ ДОЗОВАНОЇ ПАЛИВНОЇ СУМІШІ

Гуцько Ірина Василівна к.т.н., доцент
П'ясецький Анатолій Андрійович ст. викладач
Бурлака Сергій Андрійович магістр
Вінницький національний аграрний університет
Hunko I.
Pyasetskiy A.
Burlaka S.
Vinnitsia National Agrarian University

Анотація: проведено порівняльний аналіз паливних систем дизельного двигуна з розробкою системи паливоподачі і електронним регулюванням складу дозованої паливної суміші в залежності від режимів роботи двигуна.

Ключові слова: дизельне паливо, біопаливо, паливна система.

Постановка проблеми

Система паливоподачі дизельного двигуна призначена для подачі палива із паливного баку до паливного насоса з форсунками під високим тиском. У зв'язку з посиленням законодавства щодо екологічних вимог, виробники дизельних двигунів постійно вдосконалюють систему подачі палива. Цілком очевидно, що механічна система впорскування палива не відповідає таким вимогам. В окремих системах тиск палива залежить від навантаження і від частоти обертання колінчатого вала. Зниження тиску впорскування та якості розпилення призводить до осідання великих крапель палива на поверхні і зниження коефіцієнта корисної дії згоряння паливоповітряної суміші та підвищення вмісту шкідливих сполук у відпрацьованих газах. Для вирішення даних проблем, пов'язаних з використанням біопалива доцільно використовувати системи живлення з електронним регулюванням складу дозованої паливної суміші залежно від режимів роботи двигуна.

Аналіз останніх досліджень

Використання біодизельного палива для дизельних двигунів є досить актуальним, тому що ці питання пов'язані з енергетичною безпекою держави Україна і ними займаються багато науковців. Так, наприклад, у роботах [2 – 9] наведено результати дослідження впливу на техніко-економічні та екологічні показники дизеля використання чистого біодизельного палива та його суміші з дизельним. Особливу увагу варто приділити роботі [8], у якій для покращення екологічних характеристик дизеля авторами було розроблено методику визначення характеристики регулювання оптимального співвідношення компонентів суміші палив залежно від режиму роботи дизеля.

Для реалізації розробленої методики автори запропонували схему пристрою для змішування дизельного і біодизельного палив у різних пропорціях залежно від режимів роботи дизеля. Недоліком цієї методики є те, що відсотковий склад суміші палив залежить від частоти обертання колінчастого вала й не враховує ступінь навантаження двигуна, до того ж аналіз інших систем паливоподачі дизельних двигунів вітчизняного і зарубіжного виробництва показав [2], що неможливість забезпечення потрібного відсоткового співвідношення біологічного і мінерального палива в залежності від навантажувально-швидкісних режимів дизельного двигуна також присутня [3].

Мета і задачі дослідження

Метою дослідження є поліпшення економічних та екологічних показників дизельного двигуна шляхом використання суміші мінерального дизельного та біодизельного палив зі зміною їх складу в залежності від швидкості, умов руху та навантаження машино-тракторного агрегата.

Виклад основного матеріалу

Для ефективного використання біодизельного палива була вдосконалена система живлення дизеля (рис. 1), яка забезпечить зміну відсоткового складу суміші дизельного та біодизельного палив залежно від режиму роботи двигуна. Для вдосконаленої системи вносять зміни, які не погіршать роботу дизеля та забезпечать базову потужність і крутний момент. Зміна відсоткового складу суміші дизельного та біодизельного палив відбувається автоматично під час роботи двигуна. Пуск і зупинка



дизеля відбувається на дизельному паливі, тому виникає необхідність змінити підходи до керування системою живлення дизеля під час переведення його на роботу з використанням суміші дизельного та біодизельного палив, забезпечуючи динамічне регулюванням відсоткового складу.

На рис. 1 зображена схема трьохпаливної системи живлення, яка складається з: 1-паливного бака для дизельного пального; 2- паливного бака для біопалива; 3- фільтра грубої очистки; 4- електричного насоса; 5 - зворотнього клапана; 6, 7 - електромагнітних клапанів; 8- датчика температури палива; 9 - фільтра-підігрівача-змішувача (ФПЗ); 10-паливного насоса високого тиску; 11-датчика положення рейки; 12- паливопідкачувального насоса; 13- блоку керування.

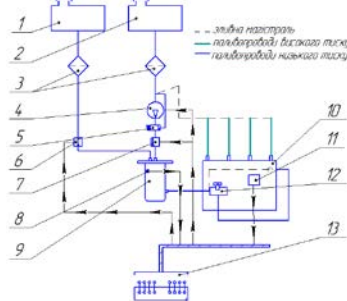


Рис. 1. Схема трьохпаливної системи живлення тракторного двигуна

Під час переведення дизельного двигуна на роботу з використанням суміші і регулюванням її відсоткового складу є необхідність в керуванні змішувачем та елементами системи відводу невикористаного палива. Система живлення забезпечує незалежну подачу дизельного та біодизельного палив до змішувача і після змішування утворюється суміш палив із відповідним відсотковим складом.

Для забезпечення керування системою живлення дизеля під час переведення його на роботу з використанням суміші дизельного та біодизельного палив встановлюють додаткові датчики та виконавчі механізми (рис. 1).

Фізико-хімічні показники біопалива і його сумішей відрізняються від аналогічних показників дизельного палива. Порівняльна характеристика була проведена на базі розрахунку ефективних показників біопалива і дизельного палива. Для прикладу було взято розрахунок ефективної питомої витрати палива за формулою:

$$q_e = \frac{3600}{Q_n \cdot \eta_e} \cdot \frac{z}{\text{кВт} \cdot \text{год}}$$

де η_e – ефективний ККД двигуна (0,35-0,4);

Q_n -нижча теплота згорання палива, кДж/кг

Розрахунки техніко-експлуатаційних показників наведені в табл. 1 і табл 2.

Таблиця 1

Показники нижчої теплоти згорання різних типів палива

Тип палива	Дизельне паливо (літне)	Дизельне паливо +25% біопалива	Дизельне паливо +75% біопалива	Дизельне біопаливо
Нижча теплота згорання Q_n , кДж/кг	42437,4	41310,375	39056,325	37929,3
Різниця ΔQ_n ,%	-	2,7	8,0	10,6

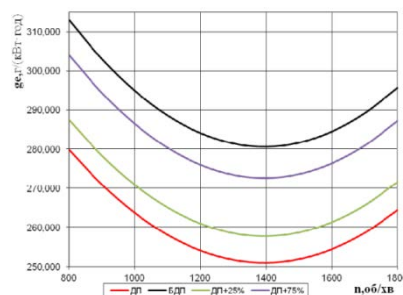


Рис. 2. Залежність питомої ефективної витрати палива двигуна від частоти обертання



Таблиця 2

Техніко-експлуатаційні показники двигуна Д21А1

Тип палива	Оберти колінчастого валу, об/хв	Потужність, кВт	Крутний момент, Нм	Питома витрата палива, г/(кВт год)	Годинна витрата палива, кг/год
Дизельне паливо	1000	12,239	116,879	263,744	3,228
	1400	16,484	112,437	251,014	4,138
	1800	18,527	98,289	264,397	4,898
Дизельне паливо + 25% біодизеля	1000	12,255	117,027	270,907	3,32
	1400	16,505	112,58	257,831	4,256
	1800	18,551	98,414	271,578	5,038
Дизельне паливо + 75% біодизеля	1000	12,289	117,353	286,464	3,52
	1400	16,551	112,894	272,637	4,512
	1800	18,602	98,687	287,173	5,342
Біодизельне паливо	1000	12,308	117,531	294,941	3,630
	1400	16,576	113,065	280,696	4,653
	1800	18,630	98,838	295,661	5,508

При тривалій роботі двигуна на альтернативних паливах із рослинних олій можливі поломки і відмови двигуна внаслідок великих нагароутворень в камері згоряння [6, 7]. Для визначення розрахункових залежностей між звичайним дизельним і біодизельним паливом була використана комп'ютерна програма Diesel-RK.

Програма розрахунків передбачала визначення техніко-екологічних показників дизеля при його роботі з частотами обертання колінчастого валу $n=2200 \text{ хв}^{-1}$ (режим номінальної потужності) а також на режимі максимального крутного моменту ($n=1600 \text{ хв}^{-1}$, $M_{кр}=298 \text{ Н}\cdot\text{м}$). Види палив, що досліджувалися: дизельне паливо (ДП) -100% і метил-ефірова рапсова олія (МЕРО) - 100%.

Порівняльні потужносні і ефективні показники роботи двигуна представлені на рис. 3 і 4 [6].

```

----- МОЩНОСТНЫЕ И ЭФФЕКТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ -----
2200.0 - n - Частота вращения коленчатого вала, [1/мин]
43.712 - Ne - Мощность, [кВт]
5.0178 - Pe - Среднее эффективное давление, [бар]
189.75 - Me - Крутящий момент, [Нм]
0.05986 - qc - Цикловая подача топлива, [г]
0.36152 - ge - Удельный эффект. расход топлива, [кг/(кВт*ч)]
0.26595 - Eta_e - Эффективный КПД
6.5480 - Pi - Среднее индикаторное давление, [бар]
0.34653 - Eta_i - Индикаторный КПД
1.1251 - Pтр - Давление трения, [бар]
0.76631 - Eta_mех - Механический КПД
    
```

Рис. 3. Ефективні показники Д-240 при роботі на біопаливі

```

----- МОЩНОСТНЫЕ И ЭФФЕКТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ -----
2200.0 - n - Частота вращения коленчатого вала, [1/мин]
61.240 - Ne - Мощность, [кВт]
7.0299 - Pe - Среднее эффективное давление, [бар]
265.84 - Me - Крутящий момент, [Нм]
0.05208 - qc - Цикловая подача топлива, [г]
0.22450 - ge - Удельный эффект. расход топлива, [кг/(кВт*ч)]
0.37731 - Eta_e - Эффективный КПД
8.6103 - Pi - Среднее индикаторное давление, [бар]
0.46213 - Eta_i - Индикаторный КПД
1.1949 - Pтр - Давление трения, [бар]
0.81645 - Eta_mех - Механический КПД
    
```

Рис. 4. Ефективні показники Д-240 при роботі на дизельному паливі

Показники процесу горіння паливо-повітряної суміші і паливоподачі представлені на рис. 5 і 6.

```

----- СГОРАНИЕ -----
1.7500 - Alfa - Коэффициент избытка воздуха при сгорании
66.453 - Pz - Максимальное давление цикла, [бар]
1370.6 - Tz - Максимальная температура цикла, [K]
3.0000 - Fi_pz - Угол максимального давления, [град. за ВМТ.]
21.000 - Fi_tz - Угол максимальн. температуры, [град. за ВМТ.]
3.3897 - dP/dFi - Макс. скор. нарастания давл., [бар/град]
Впрыск: Custom Fuel Injection System
233.34 - P_впр.мак - Макс. давление впрыска, [бар]
37.952 - d_32 - Средний диаметр капель, [мкм]
20.000 - Teta_op - Опережение впрыска / зажигания, [град.до ВМТ]
28.512 - Fi_впр - Продолжительность топливоподачи, [град]
10.704 - Fi_задер - Период задержки воспламен. в цилиндре, [град]
0.07595 - S1q_и_здп - Доля топлива, испаривш. за период задержки
288.40 - Fi_горен - Продолжительность сгорания, [град.п.к.в.]
6.8693 - N_вмт - Вихревое число (отношение) в КС в ВМТ
1.5000 - N_нмт - Вихревое число в цилиндре в начале сжатия
45.083 - W_swirl - Макс. скорость вихря [м/с] в КС на радиусе R= 28
    
```

Рис. 5. Показники процесу згоряння біопалива



----- СГОРАНИЕ -----		
1.7500	- Alfa	- Коэффициент избытка воздуха при сгорании
91.419	- Pz	- Максимальное давление цикла, [бар]
1995.1	- Tz	- Максимальная температура цикла, [K]
5.0000	- Fi_pz	- Угол максимального давления, [град. за ВМТ.]
14.000	- Fi_tz	- Угол максималн. температуры, [град. за ВМТ.]
13.601	- dP/dFi	- Макс. скор. нарастания давл., [бар/град]
Впрыск: Custom Fuel Injection System		
378.91	- P_впр.max	- Макс. давление впрыска, [бар]
29.944	- d_32	- Средний диаметр капель, [мкм]
20.000	- Teta_op	- Опережение впрыска / зажигания, [град.до ВМТ]
20.159	- Fi_впр	- Продолжительность топливopдачи, [град]
11.847	- Fi_задер	- Период задержки воспламен. в цилиндре, [град]
0.48080	- Sig_и_здр	- Доля топлива, испаривш. за период задержки
58.000	- Fi_горен	- Продолжительность сгорания, [град.п.к.в.]
6.8288	- N_вмт	- Вихревое число (отношение) в КС в ВМТ
1.5000	- N_нмт	- Вихревое число в цилиндре в начале сжатия
44.817	- W_swirl	- Макс. скорость вихря [м/с] в КС на радиусе R= 28

Рис. 6. Показники процесу згорання дизельного палива

Порівняльні графіки зміни тиску газів, інтенсивності тепловиділення і утворення продуктів неповноти згорання представлені на рис. 7 і 8 [9]

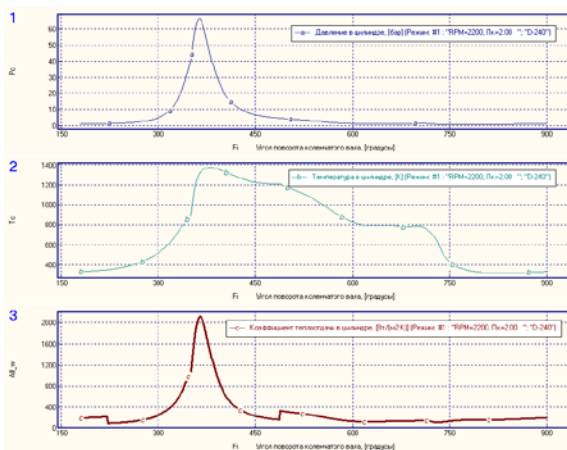


Рис. 7. Графіки індикаторних показників робочого процесу Д-240 при роботі на дизельному паливі

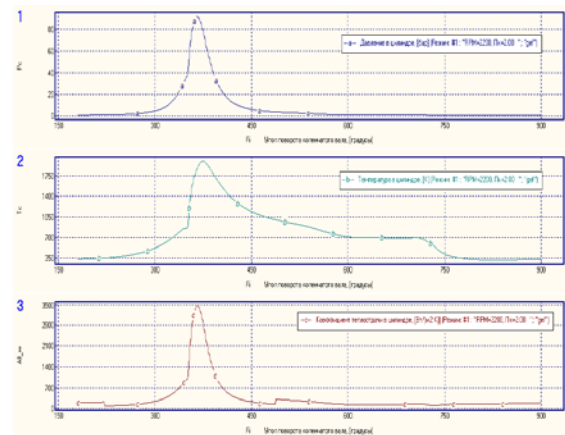


Рис. 8. Графіки індикаторних показників робочого процесу Д-240 при роботі на біодизельному паливі

Висновки

1. Внаслідок того, що у біопаливі є кисневмісні речовини ($O=10,9\%$) його нижча теплота згорання ($Q_H=39,45$ МДж/кг) менша за дизельне паливо ($Q_H=42,5$ МДж/кг) ($O=0,4\%$). Цей факт приводить до зниження потужності дизельного двигуна (до 25% для номінального режиму, рис. 3 і 4).

2. Питома витрата біопалива на номінальному режимі роботи двигуна збільшується порівняно з дизельним паливом до 37% (рис.3 і 4).

3. Дослідження процесів впорскування палива та сумішоутворення (рис. 5 і 6) показало, що середній діаметр крапель при дослідженні МЕРО збільшився до 20 %, що відповідно збільшує дальнобійність струменя порівняно з дизельним паливом і негативно відображається на процесах сумішоутворення і згорання.

4. Застосування альтернативних палив рослинного походження зі зменшеною на 10% долею вуглецю дозволяє зменшити емісію CO_2 . Швидкість утворення сажових часток при згоранні біопалива у 8,8 рази менше ніж при згоранні дизельного палива.

5. Використання системи паливopдачи дизельного двигуна з електронним регулюванням складу дозованої паливної суміші дасть можливість покращити його техніко-економічні і екологічні показники залежно від умов руху та завантаження машино-тракторного агрегата.

Рекомендації. Для забезпечення оптимальних техніко-економічних показників двигуна при застосуванні МЕРО необхідна інтенсифікація процесів очищення, впорскування, сумішоутворення і згорання. Позитивний вплив може мати підігрівання впорскуваного палива (~до $70^\circ C$), що приведе до покращення фізико-хімічних показників палива; збільшення тиску впорскування палива (~до 80 МПа) і зменшення діаметра крапель розпилювального палива.

**Список літератури**

1. Вплив автомобільного транспорту на навколишнє середовище [Електронний ресурс] / П. І. Чуваєв // Вісник Національного транспортного університету. – 2013. – № 27. – С. 380 – 383. – Режим доступу до журн.: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/vntu_2013_27_58.pdf.
2. Пинский Ф. И. Микропроцессорные системы управления автомобильными двигателями внутреннего сгорания (дизельными и бензиновыми). Учебное пособие / Ф. И. Пинский, Р. И. Давтяк, Б. Я. Черняк // М: «Легион-Автодата», 2002. – 136 с.
3. 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. – 2011. – Volume 2, Issue 1. – P. 113 – 122.
4. Галушчак Д.О. Теоретичні підходи щодо поліпшення економічних та екологічних показників автомобіля зміною відсоткового складу суміші дизельного та біодизельного палив в залежності від його навантаження / Д.О. Галушчак // Вісник ЖДТУ. – Житомир, 2014. – №2 (69). – С. 71-73.
5. Пришляк В.М. Аналіз показників роботи двигуна Д-240 за даними комп'ютерної програми Diesel-RK/ Пришляк В.М., П'ясецький А. А., Бурлака С.А. // Техніка, енергетика, транспорт АПК.-2015.-№2 (90).-С. 85-92.
6. Войтов В. Техніко-експлуатаційні та екологічні показники дизельних двигунів з використанням біодизеля / В.Войтов, М.Карнаух, М. Даценко // Техніка і технології АПК. – 2009.– № 1 – С. 13-17.
7. Грабар І. Г. Біопалива на основі олії для дизельних двигунів: монографія / І.Г. Грабар, Р.В. Колодницька, В.Г. Семенов. — Житомир: ЖДТУ, 2011. — 152с.: іл..
8. Ефанов А. А. Улучшение экологических характеристик дизеля регулированием состава смесового биотоплива : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.04.02 «Тепловые двигатели» / А. А. Ефанов. – М, 2008. – 18 с.
9. <http://www.diesel-rk.bmstu.ru/Rus/index.php>

References

1. Vplyv avtomobilnogo transportu na Navkolyshnye seredovyshe [Elektronnyy resurs] / P. I. Chuvayev // Visnyk natsionalnogo transportnogo universytetu. - 2013. - № 27. - S. 380 - 383. - Rezhym dostupu do zhurn .: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/vntu_2013_27_58.pdf
2. Pinskiy F. I. Mikroprotsessornyye sistemy upravleniya avtomobil'nyim dvigateliyami vnutrennego sgoraniya (dizel'nyim i benzinovym). Uchebnoye posobiye / F. I. Pinskiy, G. I. Davtyak, B. YA. Chernyak // M: «Legion-Avtodata», 2002. - 136 s.
3. 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. – 2011. – Volume 2, Issue 1. – P. 113 – 122.
4. Halushchak D.O. Teoretychni pidkhodi odnosytelno Polipshennya ekonomichnykh ta ekolohichnykh pokaznykiv avtomobilya zminoyu vidstokovoho skladu sumishi dyzelnoho ta biodizelnoho paliv v zalezhnosti vid eho navantazhennya / D.O. Halushchak // Visnyk ZHDTU. - Zhytomyr, 2014. - №2 (69). - S. 71-73.
5. Pryshlyak V.M. Analiz pokaznykiv roboty dvyhuna D-240 za danimi komp'yuternoyi prohramy Diesel-RK / Pryshlyak V.M., P'yasetskiy A. A., Burlaka S.A. // Tekhnika, enerhetyka, transport APK.-2015.-№2 (90) .- S. 85-92.
6. Voytov V. Tekhniko-ekspluatatsiyni ta ekolohichni pokazately dyzelnykh dvyhuniv z Vykorystannya biodizelya / V.Voytov, M.Karnaukh, M. Datsenko // Tekhnika y tekhnolohiyi APK. - 2009.- № 1 - S. 13-17.
7. Hrabar I. H. Biopaliva na osnove Oliyi dlya dyzelnykh dvyhuniv: monohrafiya / I.H. Hrabar, R.V. Kolodnytskyy, V.H. Semenov. - Zhytomyr: ZHDTU, 2011. - 152s .: il ..
8. Yefanov A. A. Uluchsheniye ekologicheskikh kharakteristik dizelya regulirovaniyem sostava smesevogo biotopliva: Avtoref. dis. na polucheniye nauk. stepeni kand. tekhn. nauk: spets. 05.04.02 «Teplovyye dvigateli» / A. A. Yefanov. - M, 2008. - 18 s.
9. <http://www.diesel-rk.bmstu.ru/Rus/index.php>

СИСТЕМА ТОПЛИВОПОДАЧИ С ЭЛЕКТРОННЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ СОСТАВА ДОЗИРОВАННОЙ ТОПЛИВНОЙ СМЕСИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЯ

Аннотация: проведен сравнительный анализ топливных систем дизельного двигателя с разработкой системы топливоподачи и электронным регулированием состава дозированной топливной смеси в зависимости от режимов работы двигателя.

Ключевые слова: дизельное топливо, биотопливо, топливная система.

DEVELOPMENT AND ELECTRONIC CONTROL OF THE FUEL MIXTURE DOSAGE DEPENDING ON THE MODE OF THE ENGINE

Summary: a comparative analysis of diesel fuel from the fuel supply system development and electronic control of the fuel mixture dosage depending on the mode of the engine.

Keywords: diesel, biofuels, fuel system.