

УДК 629.03

**А. П. Поляков, д. т. н., проф.; О. О. Галушак; Д. О. Галушак;  
К. В. Нгаяхи Аббе**

## **СПОСІБ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НЕОБХІДНИХ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА ПІД ЧАС ПЕРЕВОДУ ЙОГО НА РОБОТУ НА БІОДИЗЕЛЬНОМУ ПАЛИВІ**

*Проаналізовано фізико-хімічні властивості біопалива та розглянуто його вплив на робочі процеси двигуна. Надано конструктивні пропозиції щодо змін і налагодження елементів системи живлення дизельного двигуна під час переведення його на роботу на біодизельному паливі для збереження необхідного рівня техніко-економічних і екологічних показників.*

**Ключові слова:** дизельний двигун, дизельне паливо, біодизельне паливо.

### **Вступ**

Проблема використання альтернативних джерел енергії з відновлюваної сировини стає все більш актуальною для сучасного суспільства через енергетичну кризу, так і через екологію, тому біодизельне паливо отримує все ширше застосування [1]. Воно є відновлюваним джерелом енергії з рослинних олій. Біодизельне паливо, з погляду хімії, – метиловий ефір, який є екологічно чистою альтернативою рідкого палива й може бути використане в будь-якому дизельному двигуні без змін [2]. Однак зазначимо, що під час переведення дизельного двигуна на роботу на біодизельному паливі виникають зміни в характері робочого процесу двигуна. Переважно спостерігали зміни таких характеристик, як: потужність двигуна, крутний момент та циклова подача.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Сьогодні питаннями переведення дизельного двигуна на роботу на біодизельному паливі займається багато організацій.

Фірмою “Bosch” розроблено модернізовані паливні насоси високого тиску (ПНВТ) моделей MW і P, що дозволяють переходити від одного виду палива до іншого [4]. Ці види ПНВТ мають обмеження під час переведення їх з бензину на гас, а також на біоетанол. Заплановано також розробку таких систем для біодизельного палива (додавання його до 5 %).

Фірма “Bosch” також розробила систему управління під назвою “Bosch NG-Motronic” для керування робочими процесами під час переведення дизельного двигуна на біогаз [5].

Дослідники університету Пердью [6] розробили систему керування для зменшення питомої витрати палива й емісії оксидів азоту ( $\text{NO}_x$ ) при застосуванні суміші звичайного палива з біодизельним паливом. Система оцінює фізичні властивості палива: датчики зчитують їхні властивості й за алгоритмами, залежно від стану суміші, автоматично коригують час і спосіб упрорскування палива, а також визначають стан відпрацьованих газів. Проте система не враховує та не коригує показники потужності та крутного моменту двигуна. Зміни вносять лише на налаштування двигуна, а на конструктивному рівні зміни не розглядають.

### **Фізико-хімічні властивості біодизельного палива**

Наявність біодизельних палив різного походження призводить до того, що їхні характеристики дещо відрізняються, це зумовлено різним хімічним складом метилового та

етилового ефірів і дещо відмінними фізичними властивостями.

Біодизельне паливо має ряд переваг порівняно з традиційним дизельним паливом, серед яких можна виділити: малотоксичність (біодизельне паливо містить незначну кількість токсичних речовин); температура загоряння вища, ніж у звичайного палива, що забезпечує їхню безпечнішу експлуатацію, проте ускладнює займання горючої суміші; кращі змащувальні властивості, що може продовжити термін служби двигуна. Результати випробувань [3] показують, що навіть додавання біодизельного палива до звичайного дизельного палива в кількості менше 1% може забезпечити до 30% збільшення якості змащення.

До недоліків біодизельного палива належить висока температура помутніння, випаровування та застигання, що ускладнює його використання в зимній період.

Дані про фізико-хімічні властивості деяких ефірів олій, які використовують як біопалива, та властивості дизельного палива наведено в таблиці 1 [8].

Таблиця 1

**Фізико-хімічні властивості складних ефірів олій, які використовуються як біопаливо та дизельного палива**

Ефір олії	Цетанове число	Середня теплота згорання (Дж/кг)	Кінематична в'язкість (40°C, мм <sup>2</sup> /с)	Температура застигання (°C)	Температура помутніння палива (°C)	Найменша температура випаровування (°C)
Кокосовий						
Етил	67,4	38158	3,08	5	-3	190
Кукурудзяний						
Метил	65	38480	4,52	-3,4	-3	111
Оливковий						
Метил	61	37287	4,70	-2	-3	>110
Гірчичний						
Етил	54,9	40679	5,66	1	-15	183
Пальмовий						
Етил	56,2	39070	4,50 (37,8 °C)	8	6	193
Рапсовий						
Метил	56	37300	4,53	-6		169
Метил	53,7	8850	4,96	-6		
Метил	47,9	39870	4,76	-3	-9	166
Етил	67,4	40663	6,02	1	-12	170 (4)
Дизельне паливо	47-55	45300-46700	1,9 – 3,8	(-17) – (-8)	(-36) – (-30)	52 – 77

**Аналіз впливу фізико-хімічних властивостей біодизельного палива на робочі процеси дизельного двигуна**

Цетанове число. Рослинні олії є ліпідами, ефірами жирних кислот або гліцерином. Маючи високу теплотворну властивість, вони містять прямі вуглеводневі ланцюги, що зумовлює їхнє відносно високе цетанове число. Це забезпечує краще згорання палива.

Найменша температура випаровування. У біодизельного палива досить велика температура випаровування, це ускладнює його застосування при низьких температурах. Можна припустити, що застосування палива з високою температурою випаровування може

збільшити затримку займання і, отже, тривалість згорання палива. Це може призвести до неповного згорання палива й, відповідно, до збільшення димності.

Середня теплота згорання. Енергетична цінність біодизельного палива гірша за звичайне дизельне паливо через меншу середню теплоту згорання, що призводить до зменшення потужності та крутного моменту, проте це можна компенсувати збільшенням циклової подачі палива. Для цього потрібно довше його впорскувати та спалювати.

Кінематична в'язкість. У роботі [7] представлено експериментальну залежність між зміною в'язкості палива й середнім діаметром крапель під час розпилювання. Емпіричну формулу (1) представляємо у вигляді:

$$\frac{d}{d_{ex}} = \left( \frac{\nu}{\nu_{ex}} \right)^{0,5}, \quad (1)$$

де  $d_{ex}$  – відомий середній діаметр краплі при кінематичній в'язкості  $\nu_{ex}$ ;  $d$  – середній діаметр крапель у випадку, коли кінематична в'язкість дорівнює  $\nu$ .

Відповідно до формули (1) висока кінематична в'язкість біодизельного палива призводить до збільшення розміру крапель палива під час розпилювання.

Якщо прийняти, що середня кінематична в'язкість дизельного палива складає 2,85 мм<sup>2</sup>/с, а пальмового ефіру – 4,5 мм<sup>2</sup>/с, та підставити ці значення у формулу, (1) отримаємо:

$$\frac{d}{d_{ex}} = \left( \frac{4,5}{2,84} \right)^{0,5} = 1,3.$$

Цей результат означає, що під час переведення на роботу на біодизельному паливі за таких самих умов як в експерименті [7] одержимо краплі в 1,3 рази більші, ніж у дизельного палива, що призводить до утруднення горіння палива і, відповідно, до неповного згорання.

Під час переведення на роботу на біодизельне паливо тривалість горіння залежить від цетаного числа, найменшої температури випаровування, середньої теплоти згорання й кінематичної в'язкості. Із цих чинників єдиним, який дозволяє понизити тривалість горіння, є цетанове число. Проте, оскільки решта параметрів здійснює істотний вплив на збільшення тривалості згорання, необхідно забезпечити більшу кількість часу для впорскування, випаровування та згорання палива. Це можна здійснити шляхом збільшення кута випередження впорскування колінчастого валу.

#### **Аналіз конструктивних та налагоджуваних змін в елементах системи живлення дизельного двигуна під час переведення його на роботу на біодизельному паливі**

Для забезпечення необхідних техніко-економічних та експлуатаційних характеристик дизельного двигуна під час переведення його на роботу на біодизельному паливі можливі такі зміни:

- модернізація ПНВТ для забезпечення більшого тиску впорскування палива;
- модернізація форсунок для забезпечення впорскування більшої кількості палива та збільшення далекобійності розпилення більш густого та в'язкого палива: збільшення кількості отворів, збільшення діаметрів отворів;
- установлення більш раннього кута випередження впорскування палива для забезпечення повного згорання палива;
- установлення пристроїв підігріву палива для зменшення в'язкості біодизельного палива.

Модернізація ПНВТ.

Збільшення тиску впорскування палива забезпечить збільшення далекобійності та кількості впорскуваного палива, відповідно має збільшитися потужність.

Хироясу запропонував загальну формулу для розрахунку далекобійності до кінця

впорскування:

$$S = 0,39 \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho_f}} \cdot t, \quad (2)$$

де  $\Delta P$  – величина зниження тиску в отворі сопла форсунки;  $t$  – тривалість упорскування;  $\rho_f$  – щільність палива.

Розглянувши цю формулу, можна зробити висновок про те, що високий тиск відкриття сопла забезпечує зростання далекобійності під час упорскування палива. Оскільки щільність дизельного палива мало відрізняється від щільності біодизельного палива, то далекобійність не зазнає значних змін від цього параметра.

Модернізація форсунок.

Велика кількість досліджень показала, що розмір отвору форсунки впливає на такі параметри, як: далекобійність та якість розпилювання палива.

Паливо повинно бути роздроблене на найдрібніші краплі, рівномірно розподілено в повітряному середовищі камери згорання. Тонкість розпилювання має велике значення під час переведення двигуна на роботу на біопаливі. Установлено, що якість розпилювання покращується за збільшення швидкості струменя внаслідок підвищення тиску впорскування, із збільшенням тиску повітря, стиснутого в камері згорання; під час переходу до менших діаметрів соплових отворів форсунки. У процесі впорскування необхідно прагнути до утворення дрібних крапель палива, які водночас мали здатність глибокого проникнення за всіма напрямками в середовищі стиснутого повітря в камері згорання. Проникнення крапель у середовище стиснутого повітря залежить від далекобійності струменя палива. За зниженої далекобійності струменя краплі палива не можуть проникнути в найвіддаленіші ділянки камери згорання: відбувається неповне згорання, питома витрата палива зростає, потужність двигуна знижується. Отже, можна припустити, що під час переведення дизельного двигуна на роботу на біодизельному паливі за рахунок меншого ступеня займання, великої в'язкості потрібно буде забезпечити досить високий тиск упорскування і зменшення діаметра крапель палива. Це призведе до зміни кількості сопел і діаметрів отворів розпилювачів форсунок.

Розглянемо математичну модель, запропоновану Дентом та іншими дослідниками, яка дозволяє визначити глибину проникнення струменя палива в кінці розпилювання:

$$S = (v_{inj} d_0)^{0,5} \left( \frac{294,4}{T} \right)^{0,25}; \quad (3)$$

$$d_0 = d_{inj} \frac{\rho_f}{\rho_a}; \quad (4)$$

де  $v_{inj}$  – об'єм упорскуваного палива в кінці впорскування;  $d_{inj}$  – діаметр отвору форсунки;  $\rho_f$  – щільність палива;  $\rho_a$  – щільність повітря;  $T$  – температура.

З формули можна побачити, що далекобійність розпилювання прямо пропорційна діаметру отвору форсунки. Виходячи з цього, можна зробити висновок про те, що для забезпечення потрібної далекобійності впорскуваного біодизельного палива потрібно розраховувати необхідний діаметр отвору форсунки. Із зменшенням розміру отвору форсунки дизельного двигуна підвищуються тривалість і тиск впорскування, кількість виділеного оксиду азоту  $\text{NO}_x$  теж підвищується.

Установлення більш раннього кута випередження впорскування палива.

Зміна кута випередження не є зміною в конструкції дизельного двигуна, це лише зміна його налаштування, що забезпечує його ефективнішу роботу. Виходячи з теоретичних основ організації управління робочими процесами дизельного двигуна при переводі його на роботу на біодизельному паливі, потрібно встановити більш ранній кут випередження впорскування

для забезпечення повноти згорання біодизельного палива під час його використання в якості палива для дизельного двигуна (надати більше часу на впорскування, випаровування та займання палива).

Установлення пристроїв підігріву палива.

Однією з основних проблем, що виникають під час роботи двигуна на біодизельному паливі, є висока в'язкість палива. Вона впливає на продуктивність системи подачі палива, зокрема на функціонування паливного насоса, паливних фільтрів та утворення паливо-повітряної суміші [9]. Дослідження показали, що підігрів біодизельного палива покращують характеристики, пов'язані з високою в'язкістю. Підігрівач дозволяє використовувати біодизельне паливо в холодну пору року і забезпечувати однакові характеристики в'язкості, незважаючи на перепади температур.

### Висновки

Під час переводу дизельного двигуна на роботу на біодизельному паливі необхідно враховувати різні фізико-хімічні властивості палив. Ця різниця властивостей проявляється в зміні потужності та крутного моменту, у зміні витрати палива, у зміні якісних і кількісних характеристик шкідливих речовин у відпрацьованих газах, у зміні теплового режиму двигуна тощо. До переваг біодизельного палива належать такі характеристики: низьку токсичність; більшу безпеку (за рахунок вищої температури загоряння); кращі змащувальні властивості; високе цетанове число. До недоліків належать: висока кінематична в'язкість; висока температура випаровування, помутніння і застигання; низька середня теплота згорання.

Для збереження або покращення експлуатаційних показників двигуна під час переводу його на роботу на біодизельному паливі потрібно провести деякі зміни, це може бути:

- збільшення тиску впорскування палива шляхом модернізації ПНВТ;
- збільшення кількості отворів і (або) збільшення діаметрів отворів форсунок;
- установлення більш раннього кута випередження впорскування палива;
- установлення пристроїв для підігріву палива.

У подальшому будуть проведені дослідження кожного з варіантів модернізації двигуна та визначені кількісні характеристики експлуатаційних показників за цих змін. Після чого вже можна буде дати об'єктивну оцінку необхідних змін у налаштуванні та конструкції двигуна.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Василів Р. Г. Перспективи розвитку виробництва біотоплива в Росії. Сообщение 1: биодизель / Р. Г. Василів // Вестник биотехнологии и физико-химической биологии им. Ю. А. Овчинникова. – 2007. – Т. 3. – № 1. – С. 47 – 54.
2. Demirbas Ayhan. Biodiesel: A Realistic Fuel Alternative for Diesel Engines / Ayhan Demirbas. – London: Springer-Verlag London Ltd., 2008. – 208 p.
3. Biodiesel as an alternative motor fuel: Production and policies in the European Union [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.cti2000.it/Bionett/BioD-2005-101%20Biodiesel%20in%20the%20EU.pdf>.
4. Bosch. Системи управління дизельними двигателями / Bosch. – Издательство: За рулем, 2004. – 480 с.
5. Bosch. Bosch develops injection technology for alternative fuels Focus on mobility that conserves resources. [Електронний ресурс] / Режим доступу : <http://www.bosch-presse.de/presseforum/pressdownload/text/PI5170.pdf?id=2598,2>.
6. Purdue University. Advanced engine-control system reduces biodiesel fuel consumption and emissions. [Електронний ресурс] / Режим доступу: [http://www.purdue.edu/newsroom/research/2010/story-print-deploy-layout\\_1\\_3270\\_3270.html](http://www.purdue.edu/newsroom/research/2010/story-print-deploy-layout_1_3270_3270.html).
7. Power and Torque Characteristics of Diesel Engine Fuelled by Palm-Kernel Oil Biodiesel [Електронний ресурс] / Режим доступу: [http://ijs.academicdirect.org/A14/066\\_073.pdf](http://ijs.academicdirect.org/A14/066_073.pdf).
8. An Experimental Study on Diesel Engine Performances Using Crude Palm Oil Biodiesel [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.google.ru/url?q=http://www.jgsee.kmutt.ac.th/see1/cd/file/C-008.pdf&sa=U&ei=sBpYUJiwBYjasgaz3YCgAg&ved=0CBMQFjAA&usq=AFQjCNEUZac3Kwc0Y12hK12hDTuMkRGL7A>.
9. Graboski & McCormick. Combustion of fat and vegetable oil derived fuels in diesel engines / Graboski & McCormick // Progress in Energy and Combustion Science. – 1998. – Volume 24. – № 2. – P. 125 – 164.

*Поляков Андрій Павлович* – д. т. н., професор, декан факультету автомобілів, їхнього ремонту й відновлення.

*Галушак Олександр Олександрович* – ст. гр. АТМ-11мн.

*Галушак Дмитро Олександрович* – ст. гр. АТМ-11мн.

*Нгаяхи Аббе Клод Валері* – аспірант кафедри АТМ.  
Вінницький національний технічний університет.