

І.Г. Грабар, д.т.н., проф.
А.В. Ільченко, к.т.н., доц.
Р.В. Колодницька, к.т.н., доц.

Житомирський державний технологічний університет

ЗМІНА ВИТРАТИ МОТОРНИХ ПАЛИВ З ДОБАВКАМИ РІПАКОВОЇ ОЛІЇ

В статті наведено теоретичне обґрунтування зміни витрати палива автомобіля, що працює на дизельних паливах з добавками ріпакової олії. Розроблений математичний апарат дозволяє встановлювати норми витрат вказаних палив в реальних умовах експлуатації автомобілів.

Постановка проблеми, її зв'язок з важливими науковими завданнями, аналіз останніх досліджень використання дизельного палива з добавками ріпакової олії.

Проблема заощадження палив нафтового походження, особливо для країн з обмеженими нафторесурсами, не викликає сумнівів. Одним з головних напрямків економії моторних палив в Україні, та й в усьому світі, можна вважати використання дизельних палив (ДП) з добавками ріпакової олії (РО) та біодизельного палива: ріпакового метилового ефіру (РМЕ), ДП з добавками РМЕ. Так, провідні автомобільні фірми світу вже випускають трактори, автобуси та легкові автомобілі, які працюють на біодизельному паливі (табл. 1). Бельгійський проект VITO присвячений використанню ріпакового ефіру в якості палива для автомобілів. Результати використання автомобілів Volkswagen та Audy за 2 роки показали: пробіг автомобілів з біодизелями становив близько 300 тис. км, викиди SO_2 та S у відпрацьованих газах двигуна були практично нульові, а CO та NO_x були меншими або залишились без змін [1].

Таблиця 1

Моделі автомобілів, що працюють на біодизельному паливі

Фірма-виробник автомобіля	Автомобіль
AUDI	всі моделі TDI з 1996 р.
BMW	525 tds.1997 р. і 3+ 5 з 2001 р.
Mercedes-Benz	серії C і E 220, C 200 і 220 CDI
Nissan	Primera з 2001 р.
Seat	всі моделі TDI з 1996 р.
Skoda	всі моделі TDI з 1996 р.
Volkswagen	всі моделі TDI з 1996 р.
Volvo	моделі S80- D, S70 – TDI, V70 – TDI

На сьогодні відомі двигуни «Ельсбетт», якими обладнують автомобілі «Гольф» фірми «Фольксваген». Витрата палива такого автомобіля, у порівнянні зі „звичайним” дизельним двигуном, зменшується з 4,5 л/100 км до 3,5 л/100 км [2]. Відомо, що вказаний двигун має суттєві доробки у порівнянні зі стандартними дизелями: поршень з тепловою перемичкою, штифтовий розпилювач форсунки, в 1,5 раза збільшений тиск наддува та ін.

У 1992 році НАМІ (Росія) проводив випробування автомобіля „Москвич-2141”, двигун якого працював на РО. Дослідження показали, що при практично незмінних динамічних властивостях автомобіля витрата палива при використанні лише РО збільшується незначно. Так, при русі з постійною швидкістю 100 км/год. витрата палива зростала на 3,8 %. При цьому на кілометр пробігу автомобіля спостерігалось збільшення викидів CO на 32,7 %, але викиди C_nH_m та NO_x зменшувалися на 28,7 % [2].

На сьогоднішній день в Україні, за умови дотації державою процесу вирощування ріпаку, вартість 1 тонни РО складає близько 875–1060 грн., що дорівнює 0,8–0,98 грн./л. Розрахунки показують, що за нинішнім станом ціноутворення на ДП та РО отримання позитивної економічної ефективності використання моторних палив з добавками РО досить реальне. При переході на використання ДП з добавками РО, підвищення ефективності експлуатації автомобілів без створення науково обґрунтованих норм їх витрати неможливі, а всі пропозиції

щодо поширення використання біопалив в Україні слід розглядати з урахуванням введення в Україні міжнародних екологічних вимог до транспортних засобів ЄВРО, виконання яких неможливо без використання палива необхідної якості.

Останнім часом в Україні ведеться активний науковий пошук щодо створення теоретичних основ та практичних рекомендацій використання моторних палив з добавками РО [1–8]. Дослідження показують, що вказане паливо є перспективним і його необхідно вважати дійовим інструментом управління паливною економічністю та токсичністю відпрацьованих газів двигуна автомобіля. Це підтверджує хоча б той факт, що 7.11.01 дві комісії ЄС прийняли Директиви щодо обов'язковості застосування біопалив для автотранспорту (у вигляді відсотків до загальної кількості транспорту). Вказані Директиви передбачають, що кількість біопалива, використаного у 2005 році в країнах ЄС, повинна бути не менш як 2 % щодо загальної кількості палива (бензину та дизельного палива окремо), а в 2010 році – не менш як 5,75 %. Якщо врахувати, що загальне споживання транспортом дизельного палива в країнах ЄС в 1998 році склало більше 126,6 млн. т, та знехтувати постійним зростанням кількості споживаного палива, потреба країн ЄС в 2005 році у біодизельному паливі складе 2,53 млн. т [2]. Однак нормування витрат моторних палив з РО на сьогодні є ще незавершеним процесом.

Сьогодні йде активне вивчення основних властивостей ДП, РМЕ, а також сумішей на їх основі [9], [10], [12]. Для розрахунку норм витрати вказаних палив необхідно знати вміст у ДП та РО кисню, вуглецю, водню, кисню, сірки, води. Нижча теплота згоряння, цетанове число, густина, теоретично необхідна кількість повітря для згоряння для ДП та РО за величиною відрізняються, що в кінцевому рахунку призводить до зміни витрати моторних палив на їх основі.

Зменшення залежності від країн-імпортерів палив нафтового походження заощадженням частки палив вимагає від спеціалістів технічної експлуатації автомобілів створення науково обгрунтованих норм їх витрати, норм вмісту токсичних речовин у відпрацьованих газах двигуна автомобіля, а також розробки заходів щодо підвищення надійності двигуна автомобіля. Отже, розроблення теоретичних основ для встановлення всіх видів норм витрати вказаного палива є *актуальною науковою задачею*.

Метою даного дослідження є: створення теоретичних передумов для нормування витрат моторних палив з добавками РО при експлуатації автомобілів з дизельними двигунами.

Виклад основного матеріалу. Розроблення науково обгрунтованих норм витрати ДП з добавками РО можна провести на основі методичного підходу [18]. Витрата палива автомобіля з дизельним двигуном л/100 км:

$$Q_{ДП} = \frac{1}{\eta_{ДП}} [A_{Д} i_{к} + B_{Д} i_{к}^2 V_{а} + C (G_{а} \psi + 0,077 k F V_{а}^2)], \quad (1)$$

де $\eta_{ДП}$ – індикаторний ККД двигуна, що працює на ДП;

$A_{Д}$, $B_{Д}$, C – коефіцієнти;

$i_{к}$ – передавальне число коробки передач;

$V_{а}$ – швидкість автомобіля, км/год;

$G_{а}$ – вага автомобіля, Н;

ψ – сумарний опір дороги;

k – коефіцієнт обтічності, $\text{Н} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^4$;

F – лобова площа автомобіля, м^2 .

Для дизельного двигуна:

$$A_{Д} = \frac{381 V_{h} i_{0}}{H_{Н} \rho_{Т} r_{К}}; \quad B_{Д} = \frac{11 V_{h} S_{П} i_{0}^2}{H_{Н} \rho_{Т} r_{К}^2}; \quad C = \frac{100}{H_{Н} \rho_{Т} \eta_{ТР}}, \quad (2)$$

де V_{h} – робочий об'єм циліндрів двигуна, л;

i_{0} – передавальне число головної передачі;

$H_{Н}$ – нижча теплота згоряння палива, МДж/кг;

$\rho_{Т}$ – густина палива, $\text{кг} / \text{м}^3$;

$r_{К}$ – радіус кочення колеса, м;

$S_{П}$ – хід поршня, м;

$\eta_{ТР}$ – ККД трансмісії.

Аналіз рівнянь (1) і (2) показує, що наявність в паливі РО впливає на його нижчу теплоту, теоретично необхідну кількість повітря для згоряння та густину.

Нижча теплота згоряння палива може бути визначена за формулою Д.І. Менделєєва, кДж/кг:

$$H_H = 338,6C + 1028,3H - 108,7(O - S) - 25H_2O, \quad (3)$$

де С, Н, О, S, H₂O – вміст в паливі відповідно вуглецю, водню, кисню, сірки, води, %.

Якщо врахувати, що в одному кілограмі ДП міститься С – 0,77, Н – 0,12, О – 0,11 кг, з (3) можна отримати: для ДП H_{Н ДП} = 42,5 МДж/кг, для РО (С = 0,77 кг, Н = 0,12 кг, О = 0,11 кг.) – H_{Н РО} = 36 МДж/кг. А якщо концентрація РО в паливі дорівнює К, нижча теплота згоряння може бути визначена, МДж/кг:

$$H_{НДП+РО} = H_{НДП}(1 - K) + H_{НРО}K = H_{НДП}(1 - 0,153K), \quad (4)$$

де H_{НДП} – нижча теплота згоряння ДП, МДж/кг,

H_{НРО} – нижча теплота згоряння РО, МДж/кг,

К – об'ємна концентрація РО, К = 0...1.

Таким чином відбувається зміна нижчої теплоти згоряння палива. Наприклад, згідно з (4), для концентрації РО в паливі в 10 % його нижча теплота згоряння становитиме 41,85 МДж/кг.

Кількість повітря в суміші стехіометричного складу на 1 кг палива, кмоль повітря/кг палива:

$$L_o = \frac{1}{0,21} \times (C/12 + H/4 - O/32), \quad (5)$$

де С, Н, О – відсотковий вміст вуглецю, водню, кисню в 1 кг палива, (С + О + Н = 1).

Кількість повітря в суміші стехіометричного складу на 1 кг палива, кг повітря/кг палива:

$$l_o = \frac{1}{0,23} \times (8/3 C + 8H - O). \quad (6)$$

За допомогою (6) можна визначити стехіометричну кількість повітря на 1 кг ДП та на 1 кг РО, які дорівнюють відповідно 14,49 та 12,9 кг повітря/кг палива.

Стехіометрична кількість повітря на 1 кг суміші ДП і РО концентрації К, кг повітря/кг палива або кмоль:

$$L_{oДП+РО} = L_{oДП}(1 - K) + L_{oРО}K = L_{oДП}(1 - 0,115K), \quad (7)$$

де L_{oДП} – стехіометрична кількість повітря в суміші на 1 кг ДП, кмоль;

L_{oРО} – стехіометрична кількість повітря в суміші на 1 кг РО, кмоль.

З підвищенням концентрації РО в паливі відбувається зменшення стехіометричної кількості повітря на 1 кг палива, внаслідок чого слід очікувати зменшення індикаторного ККД двигуна.

Густина ДП з добавками РО:

$$\rho_{ДП+РО} = \rho_{ДП}(1 - K) + \rho_{РО}K = \rho_{ДП}(1 + 0,115K), \quad (8)$$

де ρ_{ДП} – густина ДП, кг/м³;

ρ_{РО} – густина РО, кг/м³.

Густина РО перевищує густину ДП. Приймавши до уваги різницю густини та нижчої теплоти згоряння ДП і РО, можна отримати:

$$H_{НДП+РО} \rho_{ДП+РО} = (1 - 0,038K - 0,018K^2) H_{НДП} \rho_{ДП}. \quad (9)$$

Індикаторний ККД двигуна, що працює на ДП:

$$\eta_{iДП} = \frac{R P_i L_{oДП} T}{H_{НДП} \eta_V P} \alpha, \quad (10)$$

де R – універсальна газова стала, Дж/(моль·К);

P_i – середній індикаторний тиск, МПа;

T – температура, °К;

P – тиск, МПа;

η_V – коефіцієнт наповнювання;

α – коефіцієнт надміру повітря.

Середній індикаторний тиск може бути визначений за допомогою відомих приладів, наприклад, пристрою для діагностування двигунів внутрішнього згоряння [17], який дозволяє автоматизувати процес виміру. За неможливістю підключення приладу до циліндра двигуна

може бути використаний спосіб визначення індикаторного ККД виміром питомої індикаторної витрати палива. В (10) при використанні добавок РО потребує окремого дослідження зміна відношення $P_i L_{0ДП} / H_{ДП} \eta_v$, а також коефіцієнта надміру повітря при збільшенні концентрації РО в паливі. Якщо припустити, що при додаванні РО до палива не відбувається зміна швидкісного режиму роботи двигуна, η_v залишається незмінним, але при зниженні нижчої теплоти згоряння палива зменшується середній індикаторний тиск P_i . Зміна L_0 повинна бути скомпенсована зміною коефіцієнта надміру повітря (навантажувального режиму роботи двигуна). За даними [18] в (10) відношення T/P також можна вважати незмінним.

З урахуванням наведених вище міркувань рівняння (10) можна представити у вигляді:

$$\eta_{iДП+РО} = \frac{RP_{iДП+РО} L_{0ДП+РО} T}{H_{ДП+РО} \eta_v P} \alpha \approx \eta_{iДП} \quad (11)$$

З урахуванням (4), (7–9), (11) при використанні ДП з добавками РО основне рівняння витрати палива можна представити, л/100 км:

$$Q_{РО+ДП} \approx (1 + 0,059K) Q_{ДП} \quad (12)$$

У (12) коефіцієнт, що враховує концентрацію РО в ДП, характеризує зміну нижчої теплоти згоряння та густини моторного палива з РО концентрації K . За його допомогою можна встановити, що використання в якості палива лише РО призводить до збільшення його витрати на 6 %.

За результатами представленого аналізу можна зробити такі **основні висновки**:

1. Розроблений математичний апарат дозволяє встановлювати норми витрати моторних палив з добавками РО в реальних умовах експлуатації автомобілів. Дослідження показали, що витрата палива автомобіля збільшується при збільшенні концентрації РО в ДП.

2. Потребують розробки науково-технічні рішення щодо компенсації збіднення паливно-повітряної суміші, яке відбувається при збільшенні концентрації РО в паливі.

3. Невеличкі розбіжності отриманого результату з експериментальними дослідженнями інших авторів, наприклад [2] [16], пояснюються збільшенням індикаторного ККД двигуна за допомогою наддува, що мав місце в дослідженнях.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Folkcenter for Vedvarende Energi. www.folkcenter.dk
2. А. Куликов. Дизели меняют рацион // Наука и жизнь. – 1993. – № 6. – С. 26–30.
3. Бойко П.М. Сировинна база для біопалив України. Аналіз міжнародного досвіду використання біопалив для автотранспорту // Управління безпекою та якістю транспортних засобів і перевезень: 36. наукових праць // Автошляховик України: окремі випуск. – 2003. – С. 45–47.
4. Гутаревич Ю.Ф., Говорун А.Г., Корнач А.О., Сябро О.А. Проблеми та перспективи використання рослинної олії як моторного палива // Автошляховик України. – 1999. – № 1. – С. 4–6.
5. Грабар І.Г., Колодницька Р.В., Ільченко А.В. Дослідження процесів утворення паливної суміші на основі ріпакової олії // Вісник Житомирського інженерно-технологічного інституту. – 2003. – № 1(24). – С. 21–24.
6. Марченко А.П., Семенов В.Г. Альтернативное биотопливо на основе производных рапсового масла // Химия и технология топлив и масел. – 2001. – № 3. – С. 31–32.
7. Grabar I.G., Pchenko A.V., Kolodnytska R.V., Arystarkhova E.O. The problem of clean ecological diesel fuels introducing on base of rapeseed oil // The National Conference with International Participation, Automobile, Environment and Agricultural Machinery. – Cluj-Napoca, 2002. – P. 255–256.
8. Семенов В.Г., Трофименко Е.В. “Биодизель” “у них” и у нас. // Автоцентр. – 2001. – № 8 – С. 28–29.
9. Семенов В.Г. Определение теплоты сгорания биотоплив растительного происхождения // Труды Одесского политехнического университета: Научный и производственно-практический сборник по техническим и естественным наукам. – Одесса, 2001. – Вып. 5. – С. 218–221.

10. Семенов В.Г. Анализ показателей работы дизелей на нефтяных и альтернативных топливах растительного происхождения // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»: Збірка наукових праць. – Харків: НТУ «ХПІ», 2002. – № 3. – С. 177–197.
11. Mittelbach M., Worgetter M., Pernkopf J., Junek H. Diesel fuel derived from vegetable oils; preparation and use of rape oil methyl ester. Energy Agric., 1983, – P. 368–384.
12. Семенов В.Г., Колодницька Р.В. Визначення фізико-хімічних показників альтернативних палив рослинного походження для дизелів сільськогосподарських машин // Вісник Житомирського державного технологічного університету. – 2003. – № 3(27). – С. 57–65.
13. Korbitz W. New trend in developing Biodiesel World-wide. // Asia Bio-Fuels. Evaluating & Exploiting the Commercial Uses of Ethanol Fuel Alcohol & Biodiesel. Singapore / 22–23 April 2002.
14. Luc Pelkmans. Biodiesel as an alternative motor fuel. Newsletter N 3. 1997. (Belgium).
15. Rapsolie til opvarming. Teknik, okonomy og miljø. Videncenter for Halm- og Flisfyring. 2001.
16. Der Pflanzenol-Motor fur die Naturwirtschaft // Umwelt-Technic. – 2000. – 67 S.
17. Устройство для диагностирования двигателей внутреннего сгорания: А.с. 1444635 СССР, МКИ G 01 M 15/00 / Г.Б. Горелик, В.Д. Басаргин, В.В. Будников, А.В. Ильченко (СССР). - № 4227162; Заявлено 16.02.87; Опубл. 15.12.88, Бюл. № 46. – 4 с.
18. Говорущенко Н.Я., Туренко А.Н. Системотехника транспорта (на примере автомобильного транспорта) / Изд. 2-е, перераб. и дополн. - Харьков: РИО ХГАДТУ, 1999. – 468 с.

ГРАБАР Іван Григорович – доктор технічних наук, перший проректор, проректор з наукової роботи, професор кафедри “Автомобілі і механіка технічних систем”.

Наукові інтереси:

- міцність конструкцій;
- синергетика;
- нові технології, прискорені сертифікаційні дослідження в умовах складного температурно-силового навантаження.

Тел. (0412) 221420

E-mail: grabar@ziet.zhitomir.ua

ІЛЬЧЕНКО Андрій Володимирович – кандидат технічних наук, доцент кафедри “Автомобілі і механіка технічних систем”, заступник декана факультету інженерної механіки Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- паливна економічність та екологічна безпека автомобільного транспорту;
- мікропроцесорні засоби і комп’ютерні системи в автомобілі;
- діагностика автомобілів.

Тел. (0412) 229120

Моб. +38 067 7778160

E-mail: ilchenko@ziet.zhitomir.ua

КОЛОДНИЦЬКА Руслана Віталіївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри “Автомобілі і механіка технічних систем” Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- екологічна безпека автомобілів;
- проблеми міцності та руйнування матеріалів;
- комп’ютерне моделювання технічних систем.

Тел. (0412) 340014

E-mail: ruslana@ziet.zhitomir.ua

Подано 18.02.2004