

УДК 629.3:621.434

А.В. Ільченко, к.т.н., доц.  
В.П. Кур'ята, аспір.

Житомирський державний технологічний університет

**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВИТРАТИ ПАЛИВА АВТОМОБІЛЯ  
З УРАХУВАННЯМ ЗБІДНЕННЯ ПАЛИВО-ПОВІТРЯНОЇ СУМІШІ  
(НА ПРИКЛАДІ МОТОРНИХ ПАЛИВ З ДОМІШКАМИ  
ОЛІЙ РОСЛИННОГО ПОХОДЖЕННЯ)***(Представлено д.т.н., проф. Грабаром І.Г.)*

*У статті наведено аналіз зміни коефіцієнта надміру повітря при використанні моторних палив з домішками олій рослинного походження. Основні розрахунки представлені для дизельного палива з домішками ріпакової олії різних концентрацій. Це дає змогу удосконалити математичну модель витрати палива автомобіля урахуванням зміни якості суміші, що готує система живлення двигуна, для різних концентрацій олій рослинного походження у паливі. Отриманий результат дозволяє встановлювати норми витрат вказаних моторних палив у реальних умовах експлуатації автомобілів.*

**Постановка проблеми, її зв'язок з важливими науковими завданнями та аналіз останніх досліджень використання дизельного палива з домішками олій рослинного походження.** В умовах дефіциту моторних палив нафтового походження як в Україні, так і в більшості країн світу ведеться активний пошук альтернативних палив для автомобілів. На даний час до цієї проблеми існує два підходи: повний перехід на альтернативне паливо; використання двокомпонентних моторних палив, які складаються з основного палива та різних домішок. В останні роки для використання як палива для дизельних двигунів найбільшу увагу приділяють ріпаковій олії (РО), оскільки на відміну від інших олій рослинного походження (ОРП) вона має багато переваг та найбільш подібні властивості до дизельного палива (ДП) [1]–[5].

Останнім часом виготовлення та використання двокомпонентних моторних палив поширюється у світі, з особливою увагою в країнах європейського союзу (ЄС). Наприклад у 2004 році у Великобританії було відкрито нову фабрику з виготовлення моторного палива на основі РО, так званого "біодизеля" (під час хімічної реакції в ректифікаційних колонах олія змішується з метанолом у присутності каталізатора). При постійному завантаженні ця фабрика зможе виїти на рівень виробництва 180 млн. л вказаного палива на рік. А до цього часу у Великобританії вже виготовлялось приблизно 12 млн. л біодизельного палива на рік, а все інше біодизельне паливо імпортувалось з інших країн ЄС. Аналіз показує, що до 2005 року 2 % всього палива, спожитого в ЄС, складе альтернативне паливо. А до 2010 року цей показник повинен зрости до 5,75 % [2]. Загальне ж споживання транспортом ДП в країнах ЄС в 1998 році склало більше 126,6 млн. т, а потреба тільки в 2005 р. і лише в біодизельному паливі, складе більше 2,53 млн. т [3].

Інша з причин, яка свідчить про використання альтернативних видів палив, в тому числі палив з ОРП, – це екологічна ситуація у світі. Так, аналіз шкідливого впливу відпрацьованих газів двигунів автомобілів на житлові масиви м. Києва показує, що 42,5 % проб повітря, що досліджувалися, із майже 3700 проб, не відповідають нормам. Проби відбиралися на 161 вулиці міста. Під час контролю перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК) окремих речовин становили:

- формальдегіду ( $\text{CH}_2=\text{O}$ ) – 92 %;
- оксиду вуглецю (СО) – 52 %;
- важких речовин (пилу) – 50 %;
- діоксиду азоту ( $\text{NO}_2$ ) – 48 % [4].

За даними гідрометеорологічної служби ЦГО Мінекології України середньорічні концентрації діоксиду азоту є найбільш вагомими як результат впливу відпрацьованих газів двигунів автомобілів. У м. Києві за цим видом викидів ГДК постійно перевищуються в 1,8–2 рази, а на окремих вулицях – аж у 5 разів. Так, наприклад, у районі вул. Лесі Українки (вулиця з великим автомобільним завантаженням) прилади для вимірювання  $\text{NO}_2$  занесалювали на позначці, що відповідає 12-кратному перевищенню норми [4].

В Європі на долю транспортного сектора в забрудненні повітря припадає значна частина всіх викидів: CO – 69 %, NO<sub>2</sub> – 63 %, дрібних частинок – 10-25 %. Можна зазначити, що викиди SO<sub>2</sub> з 1995 р. по 2001 р. у Європі зменшилися на 40 % [4], в основному завдяки минулому й існуючому регулюванню (наприклад прийняття Протоколу CRLTAR ЕС ООН, що стосується сірки), встановлення трикомпонентних каталітичних нейтралізаторів на легкових автомобілях, а також через непрямі ефекти (реструктуризація економіки європейських країн тощо). Експерименти з використання РО як домішки до ДП ведуться у багатьох країнах світу. У Франції, і не лише в цій, були проведені експерименти щодо використання як палива продукту переробки РО – метилового складного ефіру (PME). Випробування на двигунах автомобілів показали, що ДП з 5 % PME майже не впливає на довговічність деталей дизеля автомобіля, стан вузлів і систем призводить до незначного збільшення витрати палива, а вплив на екологічні показники двигуна незначний. При цьому спостерігається невелике погіршення цускових якостей холодного дизеля, що пояснюється більшою в'язкістю PME відносно ДП [5].

Отже використання палив з домішками ОРП потребує аналізу його основних властивостей, обґрунтування зміни витрати палива та токсичності відрацьованих газів, покращення надійності роботи систем двигуна.

**Актуальним науковим завданням** є удосконалення теоретичних основ нормування витрат моторних палив з домішками ОРП, в тому числі з РО.

Звичайно, науковий пошук щодо створення теоретичних основ нормування витрат двокомпонентних моторних палив та їх практичного застосування ведеться, але цей процес ще є незавершеним. Так, в [6] розроблено коефіцієнт зміни витрати двокомпонентного моторного палива. Цей коефіцієнт враховує відносну густину, відносну теоретично необхідну кількість повітря для згорання, відносну нахилу теплому згорання. Але даний коефіцієнт ще не враховує зміну якості паливо-повітряної суміші, що готує система живлення двигуна, яка характеризується коефіцієнтом надміру повітря. Різниця між значеннями густини основного палива та домішки, між теоретично необхідною кількістю повітря для згорання 1 кг двокомпонентного моторного палива впливають на величину коефіцієнта надміру повітря. Оскільки коефіцієнт надміру повітря обернено пропорційний індикаторному коефіцієнту корисної дії двигуна, то в кінцевому результаті, якість паливо-повітряної суміші впливає на величину індикаторного ККД і, відповідно, – на витрату палива.

**Метою даного дослідження** є удосконалення моделі витрати палива автомобіля ураховуванням зміни якості суміші, що готує система живлення двигуна, на основі ДП і ОРП.

**Аналіз зміни коефіцієнта надміру повітря при використанні ДП з домішками РО.** Коефіцієнт надміру повітря змінюється згідно з формулою (1):

$$\alpha = \frac{G_d}{G_T}, \quad (1)$$

де  $G_d$  – кількість повітря, що дійсно надійшло в циліндр, кг;

$G_T$  – кількість повітря, теоретично необхідного для згорання тієї ж порції палива, кг.

Кількість повітря, теоретично необхідного для згорання порції палива:

$$G_T = G_H L_0, \quad (2)$$

$G_H$  – маса палива, кг;

$L_0$  – теоретично необхідна кількість повітря для згорання 1 кг палива, кг повітря/кг палива.

Для заданого режиму роботи двигуна на паливі з домішкою РО (2) можна представити:

$$G_T = V_{ДП} \rho_{ДП} L_{0ДП} + V_{РО} \rho_{РО} L_{0РО}, \quad (3)$$

$\rho_{ДП}$  – густина ДП, кг/л;

$L_{0ДП}$  – теоретично необхідна кількість повітря для згорання 1 кг ДП, кг повітря/кг палива;

$V_{ДП}$  – об'єм, який займає ДП у цикловій подачі палива, мл;

$\rho_{РО}$  – густина РО, кг/л;

$L_{0РО}$  – теоретично необхідна кількість повітря для згорання 1 кг РО, кг повітря/кг палива;

$V_{РО}$  – об'єм, який займає РО в цикловій подачі палива, мл.

Циклова подача палива, що складається з ДП і РО:

$$V_{\Pi} = V_{ДП} + V_{РО}, \text{ мл.} \quad (4)$$

Тоді об'ємну концентрацію РО в паливі через циклову подачу можна представити:

$$K = \frac{V_{РО}}{V_{\Pi}}. \quad (5)$$

Згідно з (4) та (5) формула (3) матиме вигляд:

$$G_T = V_{\Pi}(1-K)\rho_{ДП}L_{\phi ДП} + V_{\Pi}K\rho_{РО}L_{\phi РО}. \quad (6)$$

Враховавши (1)–(6), коефіцієнт надміру повітря для паливо-повітряної суміші, що має в своєму складі ДП з домішкою РО концентрації  $K$ :

$$\alpha_{ДП-РО} = \frac{G_D}{\rho_{ДП}L_{\phi ДП}V_{\Pi}(1-0,007K)}. \quad (7)$$

Коефіцієнт надміру повітря для двигуна, що працює на ДП:

$$\alpha_{ДП} = \frac{G_D}{\rho_{ДП}L_{\phi ДП}V_{\Pi}}. \quad (8)$$

Тоді (7) згідно з (8) можна представити:

$$\alpha_{ДП-РО} = \frac{\alpha_{ДП}}{1-0,007K}. \quad (9)$$

Аналогічно коефіцієнт надміру повітря для ДП з домішкою ОРП концентрації  $K$ :

$$\alpha_{ДП-ОРП} = \alpha_{ДП} \frac{1}{1-K \left( 1 - \frac{\rho_{ОРП}L_{\phi ОРП}}{\rho_{ДП}L_{\phi ДП}} \right)}. \quad (10)$$

де  $\rho_{ОРП}$  – густина ОРП, кг/л;

$L_{\phi ОРП}$  – теоретично необхідна кількість повітря для згорання 1 кг ОРП, кг повітря/кг палива.

На коефіцієнт надміру повітря ДП з домішкою ОРП впливає добуток  $\rho_{ОРП}L_{\phi ОРП}$ . Таким чином, збільшення паливо-повітряної суміші відбуватиметься, якщо

$$\rho_{ОРП}L_{\phi ОРП} < \rho_{ДП}L_{\phi ДП}. \quad (11)$$

Паливо для дизельного двигуна також теоретично можливо використовувати такі ОРП:

- соняшникову; кукурудзяну;
- соєву;
- арахісову;
- пальмову;
- бавовняну та ін.

Якщо відомий елементарний склад ОРП [7], можна знайти її вищу і нижчу теплоту згорання, густина, теоретично необхідну кількість повітря для згорання 1 кг ОРП, а також відношення між коефіцієнтами надміру повітря паливо-повітряної суміші на основі ДП та на основі ДП з домішками ОРП концентрації  $K$  (табл. 1). Це дає змогу аналізувати витрату палива з урахуванням зміни якості паливо-повітряної суміші на її основі.

За даними [6] коефіцієнт зміни витрати двокомпонентного моторного палива:

$$I_{ДП-ОРП} = \frac{1}{(1-\Delta L_{\phi}K)(1-\Delta\rho K)(1-\Delta H_H K)}, \quad (12)$$

де  $\Delta L_{\phi}$  – відносна теоретично необхідна кількість повітря для згорання 1 кг ОРП;

$\Delta\rho$  – відносна густина ОРП;

$\Delta H_H$  – відносна нижча теплота згорання ОРП.

$I_{ЗМ}$  – коефіцієнт зміни витрати палива [6];

$\Gamma_{ЗМ}$  – коефіцієнт зміни витрати палива з урахуванням зміни його якості (коефіцієнта надміру повітря);

$K$  – об'ємна концентрація ОРП у суміші з ДП,  $K = 0-1$ .

Таблиця 1

Паливо	Елементарний склад, кг			Н <sub>н</sub> , МДж / кг	Н <sub>в</sub> , МДж / кг	L <sub>0</sub> , г. пов. / кг. пал.	ρ, кг / л	α <sub>дп</sub> /α <sub>дп+орп</sub>	I <sub>зпм</sub>	I <sub>зпм</sub>
	С	Н	О							
Дизельне паливо (ДП)	0,87	0,126	0,004	42,5	—	14,45	0,825	1	1	1
Ріпакова олія (РО)	0,77	0,12	0,11	36,0	39,7	12,9	0,920	1+0,007K	1+0,06K	1+0,19K
Соняшникова олія (СО)	0,776	0,115	0,109	37,05	39,65	12,4	0,932	1+0,033K	1+0,015K	1+0,22K
Кукурудзяна олія (КО)	0,775	0,115	0,110	37,0	39,4	12,4	0,924	1+0,041K	1+0,025K	1+0,23K
Сосна олія (СО1)	0,775	0,115	0,110	37,0	39,6	12,4	0,924	1+0,041K	1+0,025K	1+0,23K
Арахісова олія (АО)	0,78	0,123	0,097	38,1	40,9	12,8	1,045	1-0,119K	1-0,12K	1-0,13K
Пальмова олія (ПО)	0,776	0,1195	0,1145	37,45	39,8	12,6	0,897	1+0,054K	1+0,044K	1+0,26K
Бавовняна олія (БО)	0,771	0,117	0,112	37,05	39,7	12,4	0,904	1+0,062K	1+0,046K	1+0,3K

Тоді, з урахуванням (10) для двокомпонентних моторних палив з домішками ОРП:

$$I_{дп+орп} = \frac{1 - K \left( 1 - \frac{\rho_{дп} I_{орп}}{\rho_{дп} I_{дп}} \right)}{(1 - \Delta I_{\rho} K) (1 - \Delta \rho K) (1 - \Delta H_{н} K)} \quad (13)$$

Згідно з (13) встановлено уточнені значення коефіцієнтів зміни витрати палива з урахуванням зміни коефіцієнта надміру повітря паливо-повітряної суміші (табл. 1). Зазначені коефіцієнти дають змогу для більш точного визначення витрат ДП з домішками ОРП. Коефіцієнти зміни витрати палива розраховувались для ДП з домішками ОРП концентрацій K (рис. 1, 2). Ці залежності дають можливість визначити витрату ДП та ОРП концентрацій K для автомобілів у реальних умовах їх експлуатації.

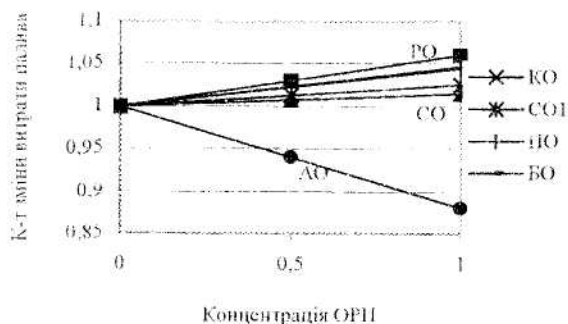


Рис. 1. Зміна коефіцієнта витрати палива від концентрації ОРП (без урахування зміни якості палива)

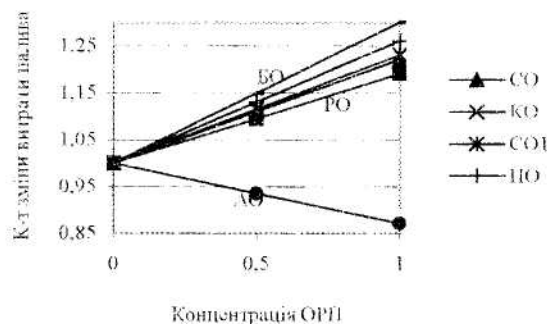


Рис. 2. Зміна коефіцієнта витрати палива від концентрації ОРП (з урахуванням зміни якості палива)

**Основні висновки:**

1. Встановлено, що використання майже всіх олій рослинного походження як палива призводить до збільшення витрати палива автомобіля при збільшенні їх концентрацій. Коефіцієнт зміни витрати палива з домішками різних олій рослинного походження (залежно від їх концентрацій) складає від 1 до 1,19 для ріпакової олії і від 1 до 1,3 – для бавовняної олії.

2. Результати досліджень показали, що арахісова олія як домішка до дизельного палива теоретично призводить до зменшення витрати палива, однак це положення потребує подальшого дослідження. Це відбувається внаслідок значно більшої густини олії у порівнянні з густиною дизельного палива. Але це може стати однією з причин неможливості її практичного використання для дизельних двигунів.

3. Доведено, що серед усіх олій рослинного походження до найменшого збільшення витрати палива призводить ріпакова олія, тому її можна вважати більш привабливою для використання як домішки до моторного палива для дизельних двигунів.

4. Запропоновано удосконалення рівняння витрати палива з урахуванням зміни якості суміші дизельного палива і олій рослинного походження, що дозволяє з більшою точністю визначати норми витрат вказаних палив у реальних умовах експлуатації автомобілів.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Редзюк А.М., Рубцов В.О., Гутаревич Ю.Ф. Проблеми та перспективи використання рослинної олії як моторного палива // Автошляховик України. – 1999. – № 1. – С. 4–6.
2. [www.proagro.com.ua](http://www.proagro.com.ua)
3. Грабар І.Г., Ільченко А.В., Колодницька Р.В. Зміна витрати моторних палив з домішками ріпакової олії // Вісник Житомирського державного технологічного університету. – 2004. – № 2 (29). – С. 19–23.
4. Орлов В.В. Основні екологічні проблеми в країнах ЄС // Автошляховик України. – 2003. – № 4. – С. 20–21.
5. Широкомасштабные эксперименты по введению рапсового масла в дизельное топливо // Автомобильная промышленность США. – 1997. – № 3. – С. 5–8.
6. Ільченко А.В. Теоретичні передумови зменшення витрат двокомпонентних моторних палив // Вісник Житомирського державного технологічного університету. – 2004. – № 4 (31). – С. 43–49.
7. [www.sciteclibrary.ru](http://www.sciteclibrary.ru)

ІЛЬЧЕНКО Андрій Володимирович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і механіки технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

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

E-mail: [ilchenko@ziet.zhitomir.ua](mailto:ilchenko@ziet.zhitomir.ua)

КУР'ЯТА Володимир Петрович – аспірант Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- паливна економічність та екологічна безпека автомобільного транспорту;
- альтернативні моторні палива.

Тел.: (0412) 25-19-04.

E-mail: [amts\\_kv@us.ziet.zhitomir.ua](mailto:amts_kv@us.ziet.zhitomir.ua)

Подано 17.01.2005