

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ НОРМУВАННЯ ВИТРАТ МОТОРНИХ ПАЛИВ З ВИСОКООКТАНОВИМИ КИСНЕВМІСНИМИ ДОБАВКАМИ

(Представлено д.т.н., проф. Грабаром І.Г.)

В статті наведено теоретичне обґрунтування зміни витрати палива автомобіля, що працює на бензинах з високооктановими кисневмісними добавками. Розроблений математичний апарат дозволяє встановлювати основні та додаткові норми витрат вказаних палив в реальних умовах експлуатації автомобілів.

Постановка проблеми, її зв'язок з важливими науковими завданнями, аналіз останніх досліджень використання моторних палив з високооктановими кисневмісними добавками (ВКД). При переході на використання альтернативних палив підвищення ефективності експлуатації автомобілів неможливо без створення науково обґрунтованих норм витрати палива, норм вмісту токсичних речовин у відпрацьованих газах двигуна автомобіля, а також без аналізу зміни та підвищення надійності роботи двигуна автомобіля. Це стосується також використання моторних палив з ВКД.

З точки зору вмісту ВКД у бензині існують наступні основні обмеження:

- вартість ВКД;
- стабільність сумішей «бензин + ВКД» для кліматичних умов України;
- необхідність урахування введених міжнародних екологічних вимог до транспортних засобів ЄВРО, які передбачають обмеження сумарного вмісту оксигенатів;
- необхідність, особливо при великих концентраціях ВКД, не тільки істотно змінювати конструкцію систем двигуна, але й підтримувати його рівень надійності (системи змашування, циліндро-поршневої групи та ін.).

На сьогоднішній день вартість 1 тонни ВКД складає близько 2800 грн., що дорівнює 2,24 грн./л. Розрахунки показують, що для отримання позитивної економічної ефективності експлуатації автомобілів на цьому паливі, при вартості бензину, наприклад 1,6 грн./л, вартість ВКД не повинна перевищувати 1 грн./л.

Таким чином, за сьогоднішнім станом ціноутворення на ВКД та бензини, отримання позитивної економічної ефективності не представляється за можливе. І це відбувається при собівартості виробництва технічного етилового спирту, що складає основу ВКД, до 30 коп.

Важливою проблемою є гігроскопічність бензоспиртових сумішей та схильність етилового спирту до розшарування в суміші з бензином при наявності води. Як стабілізатори, для усунення розшарування, застосовуються високомолекулярні спирти, наприклад ізобутанол. При зростанні в суміші вмісту високомолекулярних спиртів збільшується її гігроскопічна стійкість. Стабільність сумішевих бензинів для відомих кліматичних умов обмежується значенням негативних температур, до досягнення яких не відбувається їх розшарування. Дослідження, які проводяться в Національному транспортному університеті, показують, що для температур вищих за $-4 \dots -6$ °С бензин з 6 % ВКД не розшарується і відповідає вимогам [10]. Очевидно, що нижчі температури вимагають додаткових заходів з точки зору розшарування вказаних палив.

Всі пропозиції щодо поширення використання біопалив в Україні слід розглядати з урахуванням введених в Україні міжнародних екологічних вимог до транспортних засобів ЄВРО, виконання яких неможливе без використання палива необхідної якості. Виходячи з цього, чинними європейськими і національними нормативними документами на бензини, які призначені для звичайних бензинових двигунів (не адаптованих для роботи на спиртових паливах), введено обмеження сумарного вмісту оксигенатів за гранично допустимим загальним вмістом кисню – 2,7 масових відсотків. Розрахунки показують, що для виконання цих вимог відсотковий вміст ВКД в бензині за об'ємом не повинен перевищувати 8 %.

Відомо, що використання сумішевих бензинів (з вмістом ВКД до 6 % за об'ємом) [10] вимагає незначної доробки системи живлення двигуна автомобіля [4]. При наявності ВКД до 3–5 % за об'ємом [1], [4] можна не змінювати конструктивні та регульовальні параметри систем живлення та запалювання двигуна. Однак більш великі концентрації можуть призвести до втрати належного рівня їх надійності.

Урядовою програмою «Етанол» передбачено до 2010 року переведення до 30 % існуючого в Україні парку автомобілів з двигунами з іскровим запалюванням (карбюраторних) на використання сумішевих бензинів. Таке завдання вимагає від спеціалістів створення науково обґрунтованих норм витрати палива (основних та додаткових), 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**.

Останнім часом ведеться активний науковий пошук щодо створення теоретичних основ та практичних рекомендацій використання моторних палив з ВКД [1–8]. Дослідження показують, що вказане паливо є перспективним для України і його необхідно вважати дійовим інструментом управління паливною економічністю і токсичністю відпрацьованих газів двигуна автомобіля [1], [4], [9]. Однак, нормування витрат моторних палив з ВКД на сьогодні є ще незавершеним процесом. Існуючий математичний апарат дозволяє встановлювати тільки основну норму витрати моторних палив з ВКД.

Метою даного дослідження є: створення теоретичних передумов для нормування витрат моторних палив з ВКД при експлуатації автомобілів з двигунами з іскровим запалюванням.

Як відомо з [1], при використанні бензину з ВКД відбувається збільшення витрати палива автомобіля, яке характеризується коефіцієнтом пропорційності між витратою палива автомобіля, що працює на бензині, та витратою палива автомобіля, що працює на бензині з ВКД. Цей коефіцієнт має назву – коефіцієнт збільшення витрати палива. Витрата палива автомобіля, що працює на бензині з ВКД, л/100 км:

$$Q_{Б+ВКД} = I_{Б+ВКД} Q_{Б}, \tag{1}$$

де $I_{Б+ВКД}$ – коефіцієнт збільшення витрати палива;

$Q_{Б}$ – витрата палива автомобіля, що працює на бензині, л/100 км.

Коефіцієнт збільшення витрати палива (рис. 1) залежить від концентрації ВКД:

$$I_{Б+ВКД} = \frac{1}{1 - 0,39K}, \tag{2}$$

де K – концентрація ВКД за об'ємом, $K = 0 \dots 1$.

Для сумішевого бензину, згідно з (1), коефіцієнт збільшення витрати палива складе 1,024, а при використанні в якості палива – лише ВКД – 1,64.

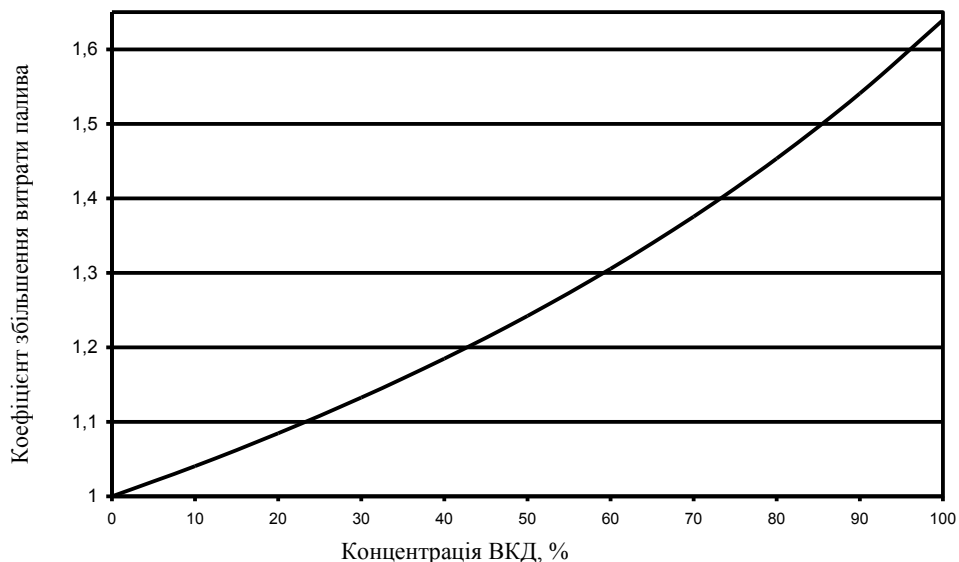


Рис. 1. Зміна коефіцієнта збільшення витрати палива від концентрації ВКД

Аналіз процесу зміни витрати палива показує, що наявність ВКД в паливі впливає на його нижчу теплоту згоряння. Це відбувається за рахунок різних за значенням величин нижчої теплоти згоряння бензину (близько 44 МДж/кг) та ВКД (26,8 МДж/кг).

Нижча теплота згоряння бензину з ВКД [1], МДж/кг:

$$H_{НБ+ВКД} = H_{НБ} (1 - 0,42K), \tag{3}$$

де $H_{НБ}$ – нижча теплота згоряння бензину, МДж/кг.

Згідно з (3), нижча теплота згоряння для сумішевого бензину становитиме 42,9 МДж/кг (рис. 2).

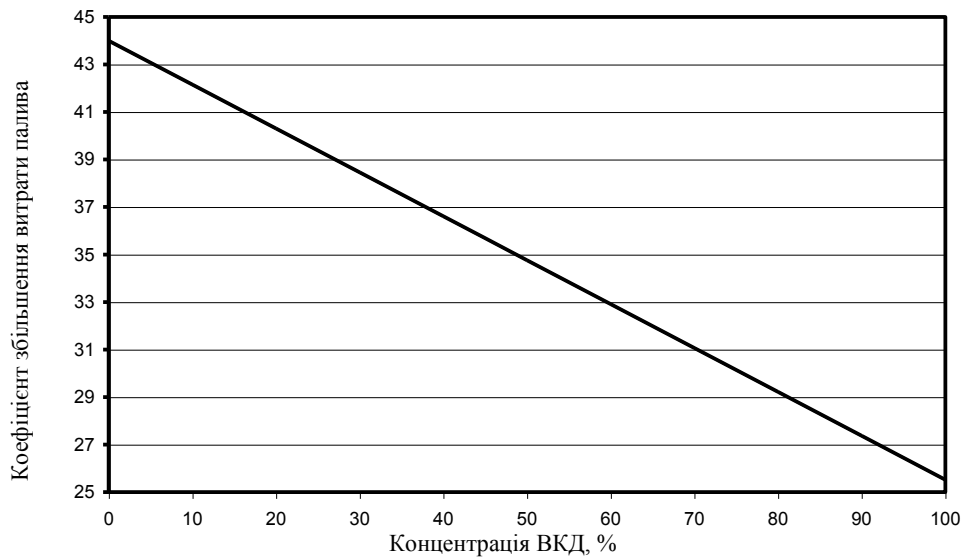


Рис. 2. Зміна нижчої теплоти згоряння палива від концентрації ВКД

Зменшення енергетичної складової палива у двигунів з іскровим запалюванням можна скорегувати збільшенням подачі палива: діаметра головного паливного жиклера карбюратора або часу відкриття форсунок впорскування палива.

При додаванні ВКД до бензину відбувається збіднення суміші, що готує карбюратор системи живлення двигуна. Це явище має місце саме тому, що теоретично необхідна кількість повітря для згоряння 1 кг бензину складає 14,7...14,8 кг, а для ВКД – 9...9,05 кг.

Таким чином, при використанні бензину з ВКД зміна витрати палива неминуча. За допомогою коефіцієнта збільшення витрати палива можна отримати основну та додаткову (на кожну тонну вантажу, перевезеного на 100 км) норми витрати палива автомобіля.

Розроблення науково обґрунтованих норм витрати палив з ВКД можна провести на основі відомого рівняння [11], л/100 км:

$$Q_B = \frac{1}{\eta_{iB}} \left[A_K i_K + B_K i_K^2 V_a + C G_a \psi + 0,077k F V_a^2 \right], \quad (4)$$

де η_{iB} – індикаторний ККД двигуна; A_K, B_K, C – коефіцієнти;

i_K – передавальне число коробки передач;

V_a – швидкість автомобіля, км/год;

G_a – вага автомобіля, Н;

ψ – сумарний опір дороги;

k – коефіцієнт обтічності, Н·с²/м⁴;

F – лобова площа автомобіля, м².

Для карбюраторного двигуна:

$$A_K = \frac{358 V_h i_0}{H_H \rho_T r_K}; \quad B_K = \frac{9 V_h S_{\Pi} i_0^2}{H_H \rho_T r_K^2}; \quad C = \frac{100}{H_H \rho_T \eta_{TP}}, \quad (5)$$

де V_h – робочий об'єм циліндрів двигуна, л;

i_0 – передавальне число головної передачі;

H_H – нижча теплота згоряння палива, МДж/кг;

ρ_T – густина палива, кг/м³;

r_K – радіус кочення колеса, м;

S_{Π} – хід поршня, м;

η_{TP} – ККД трансмісії.

З (4), з урахуванням (2) можна отримати основну N_0 та додаткову N_D норми витрати палива. Основна норма N_0 , л/100 км розраховується за формулою:

$$N_{\text{овкд}} = \frac{I_{B+ВКД}}{\eta_i} \left[A_i K + B_i K^2 V_a + C G_0 \psi + 0,077k F C V_a^2 \right], \quad (6)$$

де G_0 – вага порожнього автомобіля, Н.

Додаткова норма витрати палива – це норма на кожну тонну вантажу (10⁴ Н), що перевезений на 100 км, л/100 км:

$$H_{двкд} = \frac{10^4 I_{Б+ВКД} C \psi}{\eta_i} = \frac{10^6 I_{Б+ВКД}}{\eta_i H_{нвкд} \rho_T \eta_{TP}} \psi \quad (7)$$

З (6) та (7) неважко встановити, що основна та додаткова норми витрати палива при використанні сумішевого бензину збільшуються на 2,4 %.

Коефіцієнт збільшення витрати палива враховує зміну нижчої теплоти згоряння палива у залежності від концентрації ВКД. Як показує аналіз (6) та (7), основна та додаткова норми витрати палива з ВКД збільшуються пропорційно коефіцієнту (2). При необхідності, можна розрахувати основну та додаткову норми витрати бензину з ВКД різних концентрацій для кожної групи експлуатації (згідно з класифікацією ХНАДУ). Для цього необхідно існуючі норми домножити на коефіцієнт збільшення витрати палива. Так, наприклад, для автомобіля ЗІЛ-431410, з урахуванням даних [11], при використанні сумішевого бензину основна, додаткова норма та витрата палива з вантажем для різних груп умов експлуатації змінюються (табл. 1, рис. 3).

Таблиця 1

Норми витрати сумішевого бензину для автомобіля ЗІЛ-431410

Група умов експлуатації	Основна норма для бензину, Н _о , л/100км	Основна норма для сумішевого бензину, Н _о , л/100км	Додаткова норма для бензину, Н _д , л/100км	Додаткова норма для сумішевого бензину, Н _о , л/100км	Витрата бензину (автомобіль завантажений), Н, л/100 км	Витрата сумішевого бензину (автомобіль завантажений), Н, л/100 км
I	24,13	24,71	1,8	1,84	28,2	28,88
II	26,15	26,78	2,2	2,25	31,1	31,85
III	30,35	31,08	2,8	2,87	36,6	37,48
IV	34,38	35,2	3,3	3,38	41,8	42,8
V	39,07	40,01	3,8	3,89	47,6	48,74

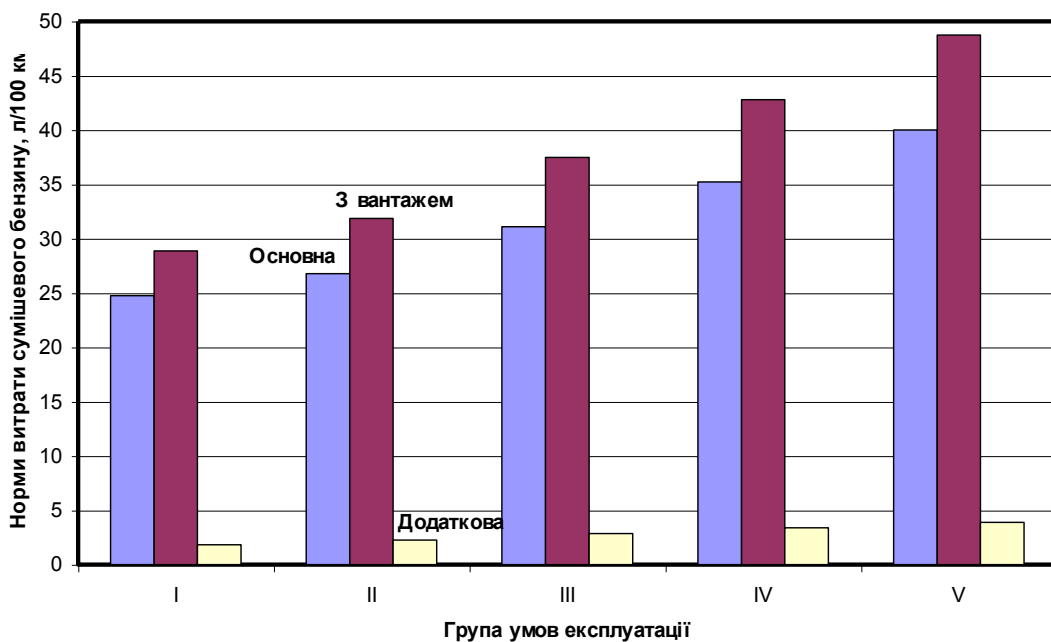


Рис. 3. Норми витрати сумішевого бензину для автомобіля ЗІЛ-431410 у залежності від груп умов експлуатації

Аналогічно розраховуються норми витрати палива автомобіля при використанні в якості палива бензину з іншим вмістом ВКД.

В експлуатації, крім лінійних норм, встановлюють і питомі норми витрати палива для вантажних автомобілів, автобусів, легкових автомобілів-таксі. Така необхідність виникає при аналізі організації транспортного процесу і (або) при виборі типу рухомого складу.

Для вантажних автомобілів, питомі норми витрати бензину з ВКД, з урахуванням відомих залежностей [11], а також (6) і (7), можна визначити, л/т км:

$$Q_v = \frac{0,01 I_{Б+ВКД} K_T K_h}{V_a} \left[\frac{K_1 + K_2 V_a^3}{g \beta} + K_3 V_{max} \right], \quad (8)$$

де K_T – коефіцієнт зміни витрати палива у залежності від температури навколишнього середовища;
 K_h – коефіцієнт зміни витрати палива в залежності від висоти над рівнем моря;
 V_h – максимальна швидкість автомобіля, км/год;
 g – вантажопідйомність автомобіля;
 γ – коефіцієнт використання вантажопідйомності;
 β – коефіцієнт використання пробігу.
 K_1, K_2, K_3 – коефіцієнти. (K_3 для карбюраторних двигунів дорівнює 1,06...1,18 [11]).

$$K_t = 1 - 0,005t, \tag{9}$$

де t – температура навколишнього середовища, °С;

$$K_h = 1 + 0,0067 \times 10^{-3}h, \tag{10}$$

де h – висота над рівнем моря, м

$$K_1 = AK_C V_{\max} i_{KП} + BK_C^2 V_{\max}^2 i_{KП}^2 + 0,01CG_a V_{\max} / \eta_i, \tag{11}$$

$$K_2 = 0,077CK_F / \eta_i. \tag{12}$$

З урахуванням (9)–(12), в кінцевому вигляді, основну норму витрати палива при використанні бензину з ВКД можна представити, л/100 км:

$$H_0 = I_{Б+ВКД} K_1 / V_a + K_2 / V_a^2. \tag{13}$$

Основна норма при використанні сумішевого бензину становитиме:

$$H_0 = 1,024 K_1 / V_a + K_2 / V_a^2.$$

Додаткова норма за перевезений вантаж, л/100 км:

$$H_D = 106...118 I_{Б+ВКД} \psi = 71,5K + 107,6 \psi. \tag{14}$$

Або

$$H_D = 106...118 I_{Б+ВКД} \frac{V_{\max}}{V_a} \approx 71,5K + 107,6 \frac{V_{\max}}{V_a}. \tag{15}$$

Тоді додаткова норма при використанні сумішевого бензину складе:

$$H_D \approx 111,9 \frac{V_{\max}}{V_a}. \tag{16}$$

Для автомобілів з причепами при використанні бензину з ВКД з урахуванням вищенаведених залежностей, л/т км:

$$Q_{\gamma} = 0,01 I_{Б+ВКД} K_T K_h \left[\frac{H_0 + H_D G_{пр}}{g_a \gamma \beta} + H_D \right], \tag{17}$$

де $G_{пр}$ – маса причепа (напівпричепа), т;

$g_{пр}$ – загальна вантажопідйомність автомобіля й причепа, т.

Для автомобілів-самоскидів, л/т км:

$$Q_{\gamma} = \frac{K_T K_h H_0 + H_e Z_e}{100 - 39K} \frac{1}{g_a \gamma \beta}, \tag{18}$$

де Z_e – число поїздок автомобіля-самоскида;

H_e – надбавка за кожну поїздку автомобіля-самоскида (0,25 л).

При погодинній оплаті роботи вантажних автомобілів, л/т км:

$$Q_{\gamma} = \frac{I_{Б+ВКД} K_T K_h H_{оп}}{g \gamma \beta}, \tag{19}$$

де $H_{оп}$ – норма при погодинному обліку роботи, л/100 км.

Аналогічно можна визначити питому витрату палива пасажирського автомобіля. Для автобусів аналогічно, як і для вантажних автомобілів, можна встановити основну норму порожнього автобуса і додаткову норму на перевезення пасажирів, обравши середню масу одного пасажирів 75 кг, л/пас км:

$$Q_{\gamma} = \frac{I_{Б+ВКД} K_T K_h H_0 + H_D}{g_a \gamma \beta}, \tag{20}$$

де H_0 – основна норма для порожнього автобуса, л/100 км;

g_a – пасажиромісткість автобуса, пас;

$\gamma_{ср}$ – середній коефіцієнт використання пасажиромісткості автобуса;

β – коефіцієнт використання пробігу;

H_D – додаткова норма за перевезення одного пасажирів на відстань 100 км, л/100 пас км.

Середній коефіцієнт використання пасажиромісткості:

$$\gamma_{\text{сп}} = \frac{Q_{\text{сп}}}{g_a} = \frac{N n l_n}{g_a l_M}, \quad (21)$$

де N_n – загальна кількість пасажирів, що перевезені автобусом на даному маршруті;

l_n – середня довжина поїздки пасажирів, км;

l_M – загальна довжина маршруту, км.

З урахуванням даних [11] додаткова норма на перевезення одного пасажирів для автобусів з двигунами з іскровим запалюванням (карбюраторних) при використанні бензинів з ВКД, л/100 пас км:

$$H_D = \frac{1}{6,67 - 2,6K} = 0,094K + 0,144. \quad (22)$$

Тоді, для сумішевого бензину, додаткова норма на перевезення одного пасажирів буде дорівнювати 0,153 л/100 пас км.

За висновками авторів [11], саме підхід, що використаний для отримання формули (22), дозволяє правильно розрахувати додаткову норму на перевезення одного пасажирів автобуса при використанні бензину з ВКД.

Для автомобілів-таксі при використанні бензину з ВКД питома норма витрати палива, л/100 пас км:

$$Q_{\gamma} = \frac{I_{\text{Б+ВКД}} K_T K_H H}{100 g_T \gamma_T \beta_T}, \quad (23)$$

де H – норма витрати палива, л/100 км;

g_T – кількість місць в автомобілі-таксі;

$\gamma_{\text{сп}}$ – коефіцієнт наповнювання автомобіля-таксі;

β_T – коефіцієнт платного пробігу.

Питома витрата палива при використанні бензину з ВКД на один платний кілометр пробігу автомобіля-таксі, л/пл км:

$$Q_{\gamma} = \frac{I_{\text{Б+ВКД}} K_T K_H H}{100 \beta_T}. \quad (24)$$

На автотранспортних підприємствах частіше використовують питому витрату палива, що виражена в масових одиницях: г/т км, г/пас км, г/пл км. Для її отримання необхідно питому витрату палива помножити на 1000 та на густину палива (в т/м³).

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

1. Розроблений математичний апарат дозволяє встановлювати основні та додаткові норми витрат палив при використанні бензинів з ВКД різних концентрацій для легкових, вантажних, автомобілів-самоскидів, автобусів та автомобілів-таксі в реальних умовах експлуатації.

2. При збільшенні концентрації ВКД в бензині збільшення витрати палива автомобіля відбувається за рахунок зменшення енергетичної складової палива.

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

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Льченко А.В.* Підвищення ефективності експлуатації автомобілів використанням моторних палив з високооктановими кисневмісними добавками: Автореф. дис... к-та техн. наук / ЖДТУ. – Житомир, 2003. – 19 с.
2. *Гутаревич Ю.Ф., Говорун А.Г., Корнач А.О.* Порівняльна оцінка токсичності двигуна з іскровим запалюванням при роботі на бензині й етиловому спирті // Автошляховик України. – 2003. – № 2. – С. 18–20.
3. *Гутаревич Ю.Ф., Говорун А.Г., Корнач А.О.* Вплив виду палива на вміст формальдегіду і ацетальдегіду у відпрацьованих газах двигуна з іскровим запалюванням // Автошляховик України. – 2002. – № 4. – С. 10–13.
4. *Гутаревич Ю.Ф., Говорун А.Г., Корнач А.О.* Етиловий спирт як моторне паливо // Автошляховик України. – 1999. – № 1. – С. 7–10.
5. *Льченко А.В.* Зміна паливної економічності автомобіля з бензиновим двигуном при використанні етанол-бензинових сумішей в якості палива // Вісник Житомирського інженерно-технологічного інституту. – 2000. – № 15. – С. 13–17.
6. Пат. № 43608 А Україна, МПК 7 F02M5 06. Поплавкова камера карбюратора: Пат. 43608 А Україна, МПК 7 F02M5/06 / Грабар І.Г., Льченко А.В. (Україна). – № 2001042280; Заявлено 05.04.01; Опубл. 17.12.01, Бюл. № 11. – 3 с.

7. Пат. № 57581 А Україна, МПК 7 С10L1 04. Спосіб контролю рівня палива в поплавковій камері карбюратора: Пат. 57581 А Україна, МПК 7 F02M5/06 / Грабар І.Г., Ільченко А.В. (Україна). – № 20021080001; Заявлено 8.10.02; Опубл. 16.06.03, Бюл. № 6.
8. Пат. № 54793 А Україна, МПК 7 С10L1 04. Спосіб контролю однорідності бензинів з високооктановими кисневмісними добавками: Пат. 54793 А Україна, МПК 7 С10L1/04 / Грабар І.Г., Ільченко А.В. (Україна). – № 2002043034; Заявлено 15.04.02; Опубл. 17.03.03, Бюл. № 3.
9. *Бойко П.М.* Сировинна база для біопалив України. Аналіз міжнародного досвіду використання біопалив для автотранспорту // Управління безпекою та якістю транспортних засобів і перевезень: Зб. Наукових праць. – Автошляховик України: Окремий випуск. – 2003. – С. 45–47.
10. ГСТУ 320.001 49943.015–2000. Бензини моторні сумішеві. Технічні умови. – К.: Держнафтогаз України, 2000. – 24 с.
11. *Говорущенко Н.Я., Туренко А.Н.* Системотехніка транспорту (на прикладі автомобільного транспорту). / Изд. 2-е, перераб. и дополн. – Харьков: РИО ХГАДТУ, 1999. – 468 с.

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

Подано 10.12.2003

Ільченко А.В. Теоретичні основи нормування витрат моторних палив з високооктановими кисневмісними добавками.

Ильченко А.В. Теоретические основы нормирования расхода моторных топлив с высокооктановыми кислородосодержащими добавками

Pchenko A.V. Theoretical bases of normalizing a consumption fuels with high–oxygen additives.

УДК 629.3:621.434

Теоретичні основи нормування витрат моторних палив з високооктановими кисневмісними добавками / А.В. Ільченко //

В статті наведено теоретичне обґрунтування зміни витрати палива автомобіля, що працює на бензинах з високооктановими кисневмісними добавками. Розроблений математичний апарат дозволяє встановлювати основні та додаткові норми витрат вказаних палив в реальних умовах експлуатації автомобілів.

УДК 629.3:621.434

Теоретические основы нормирования расхода моторных топлив с высокооктановыми кислородосодержащими добавками / А.В. Ильченко //

В статье представлено теоретическое обоснование изменения расхода топлива автомобиля, работающего на бензинах с высокооктановыми кислородосодержащими добавками. Разработанный математический аппарат позволяет устанавливать основные и дополнительные нормы расхода указанных топлив в реальных условиях эксплуатации автомобилей.

УДК 629.3:621.434

Theoretical bases of normalizing a consumption fuels with high–oxygen additives / A.V. Pchenko //

Theoretical material for normalizing a consumption of fuel with high–oxygen additives for cars is designed.