

УДК 622

**І.М. Богатчук, к.т.н., доц.**  
*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу*  
**М.І. Богатчук, економіст**  
**В.Д. Кучеренко, нач. від.**  
*Центр нормативно-економічних досліджень ВАТ “Укрнафта”*

## МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТ ПАЛИВА НА ПРИПРАЦЮВАННЯ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

*У роботі проаналізовані існуючі норми витрат палива на припрацювання двигунів внутрішнього згоряння та розроблена методика визначення витрат палива розрахунковим методом на кожній стадії гарячого припрацювання без навантаження і під навантаженням. При розробці методики використані індикаторні та ефективні показники потужності й економічності двигунів, а також запропоновані емпіричні формули для визначення допоміжних коефіцієнтів, які враховують зміну ефективної питомої витрати палива в залежності від частоти обертання колінчастого вала та ступеня використання потужності двигуна на часткових навантажувальних режимах. Методика може бути використана для наближеного розрахунку витрат палива на припрацювання двигунів внутрішнього згоряння в автоспоживачах і ремонтних організаціях.*

**Вступ.** Суспільно-економічні зміни, що відбулись у народному господарстві України, суттєво позначились на економії палива на внутрішньогосподарських та інших витратах, не пов'язаних з виконанням транспортної роботи, а саме: на припрацюванні і випробуванні двигунів внутрішнього згоряння після їх ремонту. Термін припрацювання згідно з ДСТУ 2823-94 [1] означає, що припрацювання – це процес переходу трібосистеми до стаціонарного стану, зумовлений зміною геометрії поверхонь тертя, складу та фізико-механічних властивостей поверхневих шарів тертьових тіл, а також фізико-хімічних властивостей мастильних матеріалів. У спеціальній літературі термін “припрацювання” зустрічається разом з обкаткою, що, по суті, не змінює їх значення.

Наведене вище створює значні труднощі в питаннях визначення витрат палива та інших матеріалів, які використовуються при технічній експлуатації і ремонті автомобілів. Відсутність нормативів створює сприятливі умови для зловживання з боку обслуговуючого персоналу, необгрунтованих перевитрат палива при ремонті двигунів внутрішнього згоряння. У період 1960–1980 років, коли вартість палива була в 100 раз менша, ніж в даний час, тоді даному питанню не приділяли такої уваги, як сьогодні.

Роздільність приватних автотранспортних господарств з великою кількістю різноманітних автомобілів та в умовах ринкової економіки, де на облік кожна зароблена й витрачена копійка, актуальним є питання заощадження енергоресурсів, які мають безпосередній вплив на собівартість продукції, зокрема на собівартість перевезень, яка частково залежить від витрат на технічну експлуатацію автомобілів.

**Аналіз публікацій.** Аналіз науково-технічної інформації і документації показує, що в різні часи розвитку автомобільного транспорту норми витрат палива на внутрішньогосподарські потреби автотранспортних господарств були різні.

Згідно з [2] на внутрішньогосподарські потреби, а саме на маневрування по автоспоживачу, технічні огляди автотранспорту, регульовальні роботи, припрацювання деталей двигуна й автомобіля після ремонту та інші потреби дозволяється витрачати до 1 % рідкого палива від загальної кількості палива, яку споживає автотранспортне господарство. В даний час норма витрат палива не змінилась (див. “Норми витрати палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті” Наказ Мінтрансу України від 16.02. 2004 р. № 99. – Мінтранс України, ДП “ДЕРЖАВТОТРАНСНДІПРОЕКТ”, Київ, 2004. – 72 с.). В 1990 р. дані витрати планувались на рівні 0,5 % [3].

У джерелах [4–6] наводяться нормативні дані витрат палива на обкатку двигунів, які наведені в табл. 1.

Таблиця 1

## Норми витрат палива на припрацювання двигунів

Модель двигуна	Витрати палива, л	Джерело інформації / рік	Витрати палива, л	Джерело інформації / рік
ГАЗ – 51	17,5	[4] / 1968	-	-
ЗМЗ – 53	-	-	15	[5] / 1975
ЗІЛ - 164	24,3	[4] / 1968	-	-
ЗІЛ – 130	37,5	[4] / 1968	22	[5] / 1975
ЯАЗ – 204	21,2	[4] / 1968	-	-
ЯМЗ – 236	36,0	[4] / 1968	21	[5] / 1975
ЯМЗ – 238	-	-	31	[5] / 1975

В інформаційному джерелі [6] наводиться, що на припрацювання двигунів на стенді після капітального ремонту в майстернях і на заводах норма витрат палива встановлюється на кожну кінську силу номінальної заводської потужності двигуна в розмірі: а) 0,3 л для двигунів із мірою стиску нижче 5; б) 0,25 л для двигунів із мірою стиску вище 5. Згідно з [4] витрати рідкого палива на припрацювання і випробування двигунів при капітальному ремонті визначають за затвердженими нормами на 1 кінську силу номінальної потужності двигуна: для карбюраторних двигунів – 0,25 л, для дизельних двигунів – 0,20 л. Наведене вище не що інше, як наближене прийняте середнє значення питомої витрати палива за годину ( $g_e$  – г/к.с. год. [г/кВт год.]).

У даному випадку, використовуючи нормативну питому витрату палива, витрачену на одиницю потужності двигуна, і знаючи потужність двигуна та час обкатки, можна визначити витрату палива на обкатку двигуна за формулою [7]:

$$Q_{обк} = g_e \cdot N_e \cdot t_{обк}, \text{ е} \quad (1)$$

де  $g_e$  – ефективна норма витрат палива в грамах на 1 кВт.год, (г/кВт.год);

$N_e$  – ефективна потужність двигуна, кВт;  $t_{обк}$  – час обкатки двигуна, год.

Аналіз спеціальної літератури [7–18] показує, що час припрацювання для одних і тих же марок двигунів за різними інформаційними джерелами різний. Конкретні дані з режимів обкатки повинні наводитись у технічних умовах для двигунів кожної марки, зокрема в інструкціях з експлуатації транспортних чи інших засобів. Однак не завжди є можливість відшукати чи замовити технічні умови на ремонт двигуна. У даному випадку дрібні ремонтні майстерні змушені самі встановлювати режими обкатки за правилом конструктивної подібності двигунів у залежності від споживаного палива, кількості циліндрів, потужності і частоти обертання колінчастого вала, а також споріднених технічних характеристик двигунів-аналогів за розглядуваною моделлю.

У джерелі [11] наводиться, що гаряча обкатка дизельного двигуна без навантаження (на холостих обертах) проводиться протягом 30 хв., а карбюраторного двигуна – 20 хв. Обкатку двигунів під навантаженням проводять при номінальній частоті обертання колінчастого вала на етапах розвитку ним потужності 25, 50, 70 і 90 % від номінальної протягом 10–15 хв. на кожній стадії навантаження.

Аналізуючи норми витрат палива на припрацювання (табл. 1) і прийняті норми на одиницю потужності [4, 6], можна зробити висновок, що дані норми витрат не завжди відповідають реальним витратам. Слід зауважити, що під час гарячої обкатки під навантаженням, згідно з розробленими технологічними режимами, двигуни припрацьовують на різних потужностях, починаючи з мінімальної і завершують 90 % максимальної. На кожному етапі припрацювання проходить на різних режимах, що буде супроводжуватися різними питомими витратами палива. Користуючись теоретичним апаратом в області двигунів внутрішнього згоряння та зовнішньошвидкісною характеристикою двигунів, можна розглянути методику визначення витрат палива на припрацювання двигуна на кожному режимі (етапі) припрацювання і порівняти з рекомендованими витратами палива, наведеними у спеціальних та інформаційних науково-технічних джерелах.

Розрахунок індивідуальної норми витрати палива виконується в наступному порядку.

**Гаряче припрацювання без навантаження (холостий хід).**

Під час роботи двигуна на холостих обертах потужність витрачається на подолання сил тертя в спряжених парах кривошипно-шатунного та газорозподільного механізмів, на насосні втрати, на привід допоміжних агрегатів двигуна (оливного, водяного і паливного насосів), на привід переривача-розподільника та інших пристроїв. Дана потужність є різниця індикаторної і ефективної потужностей двигуна і називається потужністю механічних втрат ( $N_{мех} = N_i - N_e$ ). На холостих обертах ефективна

потужність не передається на трансмісію автомобіля (в розглядуваному випадку на привід обкатно-гальмового стенда), то при припрацюванні двигуна без навантаження (холостому ході) ефективна потужність дорівнює нулю ( $N_e = 0$ ). У даному випадку індикаторна потужність ( $N_i$ ) дорівнює потужності механічних втрат ( $N_{\text{мех}} = N_i$ ). При цьому паливо буде витрачене на роботу двигуна на холостих обертах, тобто на подолання механічних втрат двигуна.

Однак у доступній для ремонтних підприємств науково-технічній документації і технічних інструкціях не завжди можна знайти всі необхідні параметри потужності двигуна (індикаторну й ефективну), питомі витрати палива, міру стиску та інші показники, за якими можна визначити витрати палива на припрацювання двигунів. Найчастіше в згаданій вище інформації можна знайти показники ефективної номінальної потужності.

Для того, щоб знайти потужність на різних обертах (обертах, при яких виконують припрацювання), користуються зовнішньошвидкісною характеристикою, за якою визначають ефективну потужність при необхідних обертах. При відсутності графіка зовнішньошвидкісної характеристики ефективну потужність визначають за формулою, яка дає можливість при відсутності дослідних залежностей використати емпіричну формулу [19–21]:

$$N_e = N_{\text{мак}} [a_1(n_e/n_N) + b_1(n_e/n_N)^2 - c_1(n_e/n_N)^3], \quad (2)$$

де  $N_e$  і  $n_e$  – значення ефективної потужності і частоти обертання колінчастого вала, кВт (к.с.) і хв.<sup>-1</sup>;  $N_{\text{мак}}$  і  $n_N$  – максимальна ефективна потужність, кВт і відповідно значення частоти обертання колінчастого вала, хв.<sup>-1</sup>;  $a_1, b_1, c_1$  – емпіричні коефіцієнти, які залежать від типу двигуна. Для карбюраторних двигунів  $a_1 = b_1 = c_1 = 1$ ; для двотактних дизелів  $a_1 = 0,87$ ;  $b_1 = 1,13$ ;  $c_1 = 1$ ; для чотиритактних дизелів  $a_1 = 0,53$ ;  $b_1 = 1,56$ ;  $c_1 = 1,09$ .

Задаючись різними значеннями частоти обертання колінчастого вала за наведеною формулою (2), можна визначити текуче значення ефективної потужності ( $N_e$ ).

Відношення ефективної потужності до індикаторної потужності називають механічним коефіцієнтом корисної дії (ККД) двигуна:

$$\eta_{\text{мех}} = \frac{N_e}{N_i}, \quad (3)$$

де  $N_e$  – ефективна потужність двигуна, кВт;  $N_i$  – індикаторна потужність, кВт.

Згідно з [19–23] механічний ККД при номінальному режимі роботи карбюраторного двигуна дорівнює 0,7–0,87, дизельного – 0,75–0,9.

За відомою з інформаційних [24] джерел ефективною потужністю визначають індикаторну

$$N_i = \frac{N_e}{\eta_{\text{мех}}}, \text{ кВт.} \quad (4)$$

Після ремонту двигуна спряжені пари тертя не притерті (припрацьовувані), тому з достатньо високою імовірністю можна приймати найменше значення механічного коефіцієнта корисної дії (для карбюраторних – 0,7 і дизельних – 0,75).

Різниця між індикаторною й ефективною потужностями при змінній частоті обертання колінчастого вала складає потужність механічних втрат

$$N_{\text{мех}} = N_i - N_e, \text{ кВт.} \quad (5)$$

Внаслідок того, що розрахунок витрат палива буде проводитись за параметрами ефективної потужності, яку можна знайти в спеціальній довідковій літературі, формулу (5) шляхом математичних перетворень, використавши формули (3) і (4), приведемо до наступного вигляду:

$$N_{\text{мех}} = N_i - N_e = (1 - \eta_{\text{мех}}) \cdot N_i = (1 - \eta_{\text{мех}}) \cdot \frac{N_e}{\eta_{\text{мех}}}, \text{ кВт.} \quad (6)$$

Якщо прийняти  $\eta_{\text{мех}} = 0,7$  для карбюраторних двигунів і  $\eta_{\text{мех}} = 0,75$  для дизельних двигунів, то вказані значення, підставивши в формулу (6), отримаємо:

$$N_{\text{мех}}^{\text{к}} = 0,43 \cdot N_e, \text{ кВт;} \quad N_{\text{мех}}^{\text{д}} = 0,33 \cdot N_e, \text{ кВт,} \quad (7)$$

де  $N_{\text{мех}}^{\text{к}}$ ,  $N_{\text{мех}}^{\text{д}}$  – потужність, витрачена на роботу двигуна на холостих обертах (гаряче припрацювання без навантаження) відповідно карбюраторних і дизельних двигунів, кВт.

Для визначення витрати палива необхідно прийняти індикаторну норму витрати палива ( $g_i$ ) та тривалість обкатки на прийнятому режимі ( $t_{\text{обк}}$ ) і формулу (1) представити в наступному вигляді:

$$Q_{\text{обк}} = g_i \cdot N_{\text{мех}} \cdot t_{\text{обк}} \cdot \rho. \quad (8)$$

Питома індикаторна витрата палива для карбюраторних та дизельних двигунів за різними інформаційними джерелами [19–21] складає:  $g_i^k = 180\text{--}340$  г/(кВт. год) та дизельних  $g_i^d = 130\text{--}205$  г/(кВт. год). Для наближених розрахунків можна прийняти максимальні значення питомих витрат палива, оскільки іде процес припрацювання (обкатки) двигуна. Якщо є інформація про значення питомих витрат палива для конкретних моделей двигунів, то бажано їх використати для більш точного розрахунку.

Тривалість обкатки ( $t_{обк}$ ) на прийнятому режимі встановлюють згідно з розробленими технологічними режимами, які в основному можна відшукати в довідкових джерелах з капітального ремонту автомобілів або іншої техніки, де використовуються двигуни внутрішнього згоряння.

Розрахувавши потужність, витрачену на роботу двигуна на холостих обертах та прийнявши індикаторну витрату палива і тривалість обкатки, використавши формулу (1), визначаємо витрату палива на холостих обертах за формулою:

для карбюраторних

$$Q_{обк}^k = g_i^k \cdot N_{мех}^k \cdot t_{обк}^k \cdot e; \quad (9)$$

для дизельних

$$Q_{обк}^d = g_i^d \cdot N_{мех}^d \cdot t_{обк}^d \cdot e, \quad (10)$$

де  $k$  і  $d$  – індекси, відповідно карбюраторного і дизельного двигунів.

Аналогічним чином визначають витрату палива при контрольних випробуваннях двигуна. Якщо згідно з технологією припрацювання двигуна проводять у декілька етапів на різних частотах обертання колінчастого вала, то для кожного етапу визначають окремо витрату палива, а після їх сумують.

#### Гаряче припрацювання під навантаженням.

Якщо взяти до уваги ті обставини, що двигун припрацьовують на різних етапах (стадіях), в яких різні частоти обертання колінчастого вала і потужності, то, знаючи питоми витрати палива на вказаних режимах, можна знайти витрати палива на кожній стадії припрацювання за формулою (1), записавши її в наступному вигляді:

$$Q_{cmi} = g_{ecmi} \cdot N_{ecmi} \cdot t_{cmi} \cdot e, \quad (11)$$

де  $N_{ecmi}$  – ефективна потужність двигуна на  $i$ -й стадії (етапі) припрацювання, кВт;

$g_{ecmi}$  – ефективна питома витрата палива на  $i$ -й стадії припрацювання, г/кВт год;

$t_{cmi}$  – тривалість припрацювання, год.

Наведені в формулі (11) показники ефективної потужності двигуна та тривалість припрацювання вибираються з документації технологічних режимів на припрацювання двигуна. Третім показником у даній формулі є ефективна питома витрата палива, яка визначається за зовнішньошвидкісною характеристикою, або навантажувальною характеристикою двигуна та іншими методами, наведеними нижче.

Зовнішньошвидкісна характеристика знімається при повнім відкритті дросельної засувки (максимальній подачі палива), часткові швидкісні характеристики двигуна відповідають постійним проміжним положенням дросельної засувки. В основному припрацювання двигунів згідно з розробленими технологічними режимами здійснюють на часткових швидкісних характеристиках.

За зовнішньошвидкісними характеристиками двигуна можна визначити питоми витрати палива тільки при певних (сумісних) частотах обертання і потужностях, при яких певній частоті обертання колінчастого вала відповідає конкретна потужність, тому в рідкісних випадках можна скористатись стандартними графіками зовнішньошвидкісних характеристик, які наведені в інформаційних джерелах [19–23]. Рекомендовані частоти обертання і потужності на припрацювання двигунів майже не співпадають з графіками зовнішньошвидкісної характеристики, тому ускладнюється завдання з визначення питомих витрат палива на часткових режимах роботи двигуна. У випадку неможливості використати зовнішньошвидкісну характеристику двигуна використовують навантажувальну характеристику двигуна. При її відсутності для визначення питоми витрати палива ( $g_e$ ) можна використати наближені методики, запропоновані І.С. Шліппе і описані в [19, 21, 23]. Методика передбачає використання допоміжних коефіцієнтів, що враховують зміну залежності  $g_e$  від частоти обертання колінчастого вала і степеня використання потужності.

Питому витрату палива на рекомендованих режимах припрацювання двигуна визначають за формулою [20, 23]:

$$g_e = g_N \cdot k_e \cdot k_\omega, \text{ г/кВт.год}, \quad (12)$$

де  $g_N$  – питома витрата палива при  $N_{мак}$ , г/(кВт.год);

$k_q$  – коефіцієнт, який враховує зміну ( $g_e$ ) в залежності від частоти обертання колінчастого вала  $\frac{n_e}{n_N}$ , де  $n_e, n_N$  – відповідно поточне і максимальне значення частоти обертання колінчастого вала, хв.<sup>-1</sup>;

$k_g$  – коефіцієнт, який враховує зміну ( $g_e$ ) від степеня використання потужності **В** двигуна.

Степом використання потужності двигуна **В** називають відношення потужності, необхідної для руху автомобіля, до потужності, яку може розвивати двигун при повному відкритті дросельної засувки. У нашому випадку – це відношення потужності навантаження, створеного гальмівним стендом для обкатки двигунів, до максимальної ефективної потужності двигуна. **В** визначають за формулою:

$$B = \frac{N_n}{N_{\max}} \tag{13}$$

де  $N_n$  – потужність навантаження на даному режимі припрацювання, кВт;

$N_{\max}$  – максимальна ефективна потужність двигуна, за паспортними даними, кВт.

Наближені значення коефіцієнтів  $k_g$  і  $k_q$  визначають за графіками, наведеними в джерелах [19, 21, 23]. Однак їх визначення має певні неточності та незручності. З метою спрощення механізму розрахунку питомої витрати палива графіки для визначення коефіцієнтів  $k_g$  і  $k_q$  з допомогою графічно-аналітичних методів перетворимо в емпіричні формули за допомогою ПЕОМ.

Для виведення залежностей до розрахунку допоміжних коефіцієнтів при різних частотах обертання і навантаження проведено сканування графіків залежностей коефіцієнтів  $k_g$  і  $k_q$ , взятих з джерела [19]. Слід зауважити, що в авторів відсутні оригінали згаданих графіків, а аналіз вказаних графіків показує, що в них є незначні розбіжності.

Отримані зображення вставлені у вигляді растрового об'єкта в креслення, виконане в програмі “Компас 3D V8 Plus”, де на відтворені графіки були накладені відповідні лінії. Використавши можливості програми “Компас 3D V8 Plus”, виконано заміри координат точок графіків. Отримані результати точок графіків оброблені за допомогою програми “Excel”. Спочатку отримані значення абсцис і ординат точок були помножені на відповідні масштабні коефіцієнти. Після чого здійснено побудову графічних залежностей і, використовуючи можливості згаданої програми “Excel”, отримали лінію тренда, яка описується поліномом п'ятого степеня і зображена на рис. 1.

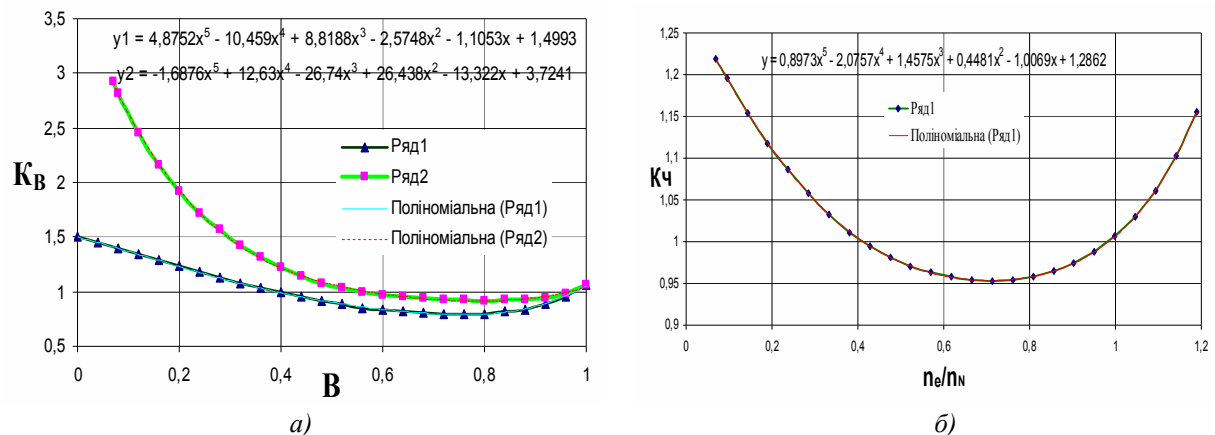


Рис. 1. Графічне зображення відтворених графіків та лінії тренда для визначення допоміжних коефіцієнтів  $k_g$  і  $k_q$ :

а – зміна коефіцієнта  $k_g^k$  карбюраторного (ряд-2) і  $k_g^d$  дизельного двигуна (ряд-1);

б – зміна коефіцієнта  $k_q$

Слід зауважити, що величина вірогідної апроксимації на діаграмах (графіках) перевищувала 0.99, що свідчить про високу точність одержаних результатів і можливість використання рівнянь для розрахунку допоміжних коефіцієнтів

$$k_q = 0,8973 \left( \frac{n_e}{n_N} \right)^5 - 2,0757 \left( \frac{n_e}{n_N} \right)^4 + 1,4575 \left( \frac{n_e}{n_N} \right)^3 + 0,4481 \left( \frac{n_e}{n_N} \right)^2 - 1,0069 \left( \frac{n_e}{n_N} \right) + 1,2862. \tag{14}$$

Для карбюраторних двигунів:

$$k_e^k = -1,6876 \left( \frac{N_n}{N_{мак}} \right)^5 + 12,63 \left( \frac{N_n}{N_{мак}} \right)^4 - 26,74 \left( \frac{N_n}{N_{мак}} \right)^3 + 26,438 \left( \frac{N_n}{N_{мак}} \right)^2 - 13,322 \left( \frac{N_n}{N_{мак}} \right) + 3,7241; \quad (15)$$

для дизельних двигунів:

$$k_e^d = 4,8752 \left( \frac{N_n}{N_{мак}} \right)^5 - 10,459 \left( \frac{N_n}{N_{мак}} \right)^4 + 8,8188 \left( \frac{N_n}{N_{мак}} \right)^3 - 2,5748 \left( \frac{N_n}{N_{мак}} \right)^2 - 1,1053 \left( \frac{N_n}{N_{мак}} \right) + 1,4993. \quad (16)$$

Отримані поліноми дозволяють за допомогою програми “MathCAD” чи “Excel” спростити процес визначення необхідних коефіцієнтів і отримувати більш точне їх значення при різних аргументах, ніж з графіків. Запропоноване може бути використане при наближених розрахунках паливно-економічної характеристики автотранспортних засобів та агрегатних установок з приводом від двигуна внутрішнього згоряння.

Розрахувавши питомі витрати палива на кожній із ступіней гарячого припрацювання під навантаженням, визначають витрату палива на кожному етапі припрацювання за формулою (11) і загальну витрату на гаряче припрацювання під навантаженням двигуна.

### 1. Приклад розрахунку витрат палива (умовний).

#### 1.1. Вихідні дані:

- тип двигуна – ЗМЗ–53 (карбюраторний);
- номінальна потужність двигуна,  $N_{мак} = 84,6$  кВт [24];
- частота обертання колінчастого вала,  $n_N = 3200$  хв<sup>-1</sup>;
- питома витрата палива приймаємо,  $g_e^k = 210–380$  г/(кВт·год) [19–23];
- режими припрацювання [7, 14]:
  - гаряче без навантаження (холостий хід): частота обертання колінчастого вала 1500–2000 хв<sup>-1</sup>; тривалість 20 хв.;
  - гаряче з навантаженням: **I** ступінь – частота обертання 1600–2200 хв<sup>-1</sup>; навантаження – 11,0–14,7 кВт; тривалість 25 хв.; **II** ступінь – частота обертання 2500–2800 хв<sup>-1</sup>; навантаження 22–36,8 кВт; тривалість – 25хв.;
  - контрольне приймання (випробовування): частота обертання не більше 3000 хв<sup>-1</sup>; тривалість 5 хв.;
- витрата палива на припрацювання двигуна з мірою стиску більше 5–0,25 л/к.с. [6] (показник буде використовуватись для порівняння);
- витрата палива на припрацювання двигуна (карбюраторного) – 0,25 л/к.с. [4] (показник буде використовуватись для порівняння).

1.2. Розрахунок індивідуальної норми витрати палива на припрацювання двигуна виконується в наступному порядку.

#### 1.2.1. Гаряче припрацювання без навантаження (холостий хід).

Ефективна потужність при:  $n_e = 2000$  хв<sup>-1</sup>;  $n_N = 3200$  хв<sup>-1</sup>;  $N_{мак} = 84,6$  кВт;  $a_1 = b_1 = c_1 = 1$ ; визнається за формулою (2):

$$N_e = N_{мак} [a_1(n_e/n_N) + b_1(n_e/n_N)^2 - c_1(n_e/n_N)^3] = 84,6 [1(2000/3200) + 1(2000/3200)^2 - 1(2000/3200)^3] = 65,25 \text{ кВт.}$$

Потужність механічних втрат визначається за формулою (7):

$$N_{мех}^k = 0,43 \cdot N_e = 0,43 \times 65,25 = 28,06 \text{ кВт.}$$

Витрата палива визначається за формулою (9) при:  $g_i^k = 340$  г/(кВт·год);  $t_{обк} = 0,33$  год.

$$Q_{обк}^k = g_i^k \cdot N_{мех}^k \cdot t_{обк}^k = 340 \times 28,06 \times 0,33 = 3148,33 \text{ г} \approx 3,15 \text{ кг.}$$

#### 1.2.2. Гаряче припрацювання під навантаженням.

##### 1.2.2.1. I ступінь.

Залежність між поточним і максимальним значеннями частоти обертання колінчастого вала: при  $n_e = 2200$  хв<sup>-1</sup> і  $n_N = 3200$  хв<sup>-1</sup> складає:

$$\frac{n_e}{n_N} = \frac{2200}{3200} = 0,688.$$

Визначаємо  $k_q$  за формулою (14):

$$k_q = 0,8973 \left( \frac{n_e}{n_N} \right)^5 - 2,0757 \left( \frac{n_e}{n_N} \right)^4 + 1,4575 \left( \frac{n_e}{n_N} \right)^3 + 0,4481 \left( \frac{n_e}{n_N} \right)^2 - 1,0069 \left( \frac{n_e}{n_N} \right) + 1,2862 = 0,8973 (0,688)^5 - 2,0757 (0,688)^4 + 1,4575 (0,688)^3 + 0,4481 (0,688)^2 - 1,0069 (0,688) + 1,2862 = 0,953.$$

Ступінь використання потужності  $B$  визначаємо за формулою (13) при  $N_n = 14,7$  кВт і  $N_{мак} = 84,6$  кВт:

$$B = \frac{N_n}{N_{мак}} = \frac{14,7}{84,6} = 0,174.$$

Визначаємо  $k_g^k$  за формулою (15):

$$k_g^k = -1,6876 \left( \frac{N_n}{N_{мак}} \right)^5 + 12,63 \left( \frac{N_n}{N_{мак}} \right)^4 - 26,74 \left( \frac{N_n}{N_{мак}} \right)^3 + 26,438 \left( \frac{N_n}{N_{мак}} \right)^2 - 13,322 \left( \frac{N_n}{N_{мак}} \right) + 3,7241 = -1,6876 (0,174)^5 + 12,63 (0,174)^4 - 26,74 (0,174)^3 + 26,438 (0,174)^2 - 13,322 (0,174) + 3,7241 = 2,077.$$

Витрату палива на рекомендованих режимах припрацювання двигуна визначаємо за формулою (12) при максимально можливій питомій витраті палива для карбюраторного двигуна  $g_N = 380$  г/(кВт.год).

$$g_e^l = g_N \cdot k_g^k \cdot k_q = 380 \times 2,077 \times 0,953 = 752,16 \text{ г/кВт.год},$$

де  $g_N$  – питома витрата палива при  $N_{мак}$ , приймаємо  $g_N^k = 380$  г/(кВт.год);

Визначаємо витрати палива на  $I$  стадії припрацювання за формулою (11) при  $N_n = N_{есм}$ :

$$Q_{см} = g_{есм} \cdot N_{есм} \cdot t_{см} = 752,16 \times 14,7 \times 0,42 = 4643,84 \text{ г} \approx 4,64 \text{ кг}.$$

### 1.2.2.2. II ступінь.

Залежність між поточним і максимальним значенням частоти обертання колінчастого вала розраховуємо: при  $n_e = 2800$  хв<sup>-1</sup> і  $n_N = 3200$  хв<sup>-1</sup> складає:

$$\frac{n_e}{n_N} = \frac{2800}{3200} = 0,875.$$

Визначаємо  $k_q$  за формулою (14):

$$k_q = 0,8973 (0,875)^5 - 2,0757 (0,875)^4 + 1,4575 (0,875)^3 + 0,4481 (0,875)^2 - 1,0069 (0,875) + 1,2862 = 0,968.$$

Ступінь використання потужності  $B$  визначаємо за формулою при  $N_n = 36,8$  кВт і  $N_{мак} = 84,6$  кВт:

$$B = \frac{N_n}{N_{мак}} = \frac{36,8}{84,6} = 0,435.$$

Визначаємо  $k_g^k$  за формулою (15):

$$k_g^k = -1,6876 \left( \frac{N_n}{N_{мак}} \right)^5 + 12,63 \left( \frac{N_n}{N_{мак}} \right)^4 - 26,74 \left( \frac{N_n}{N_{мак}} \right)^3 + 26,438 \left( \frac{N_n}{N_{мак}} \right)^2 - 13,322 \left( \frac{N_n}{N_{мак}} \right) + 3,7241 = -1,6876 (0,435)^5 + 12,63 (0,435)^4 -$$

$$- 26,74(0,435)^3 + 26,438(0,435)^2 - 13,322(0,435) + 3,7241 = 1,157.$$

Витрату палива на рекомендованих режимах припрацювання двигуна визначаємо за формулою (12) при максимально можливій питомій витраті палива для карбюраторного двигуна  $g_N = 380$  г/(кВт.год.)

$$g_e^{\text{II}} = g_N \cdot K_e^K \cdot K_\eta = 380 \times 1,157 \times 0,968 = 425,59 \text{ г/кВт.год.},$$

де  $g_N$  – питома витрата палива при  $N_{\text{мак}}$ , приймаємо  $g_N^K = 380$  г/(кВт.год).

Визначаємо витрати палива на II (ступені) стадії припрацювання за формулою (11) при  $N_n = N_{\text{есм}}$ :

$$Q_{\text{см}} = g_{\text{есм}} \cdot N_{\text{есм}} \cdot t_{\text{см}} = 425,59 \times 36,8 \times 0,42 = 6577,92 \text{ г} \approx 6,58 \text{ кг.}$$

1.2.3. Гаряче припрацювання без навантаження (контрольні випробування).

Ефективна потужність при:  $n_e = 3000 \text{ хв}^{-1}$ ;  $n_N = 3200 \text{ хв}^{-1}$ ;  $N_{\text{мак}} = 84,6$  кВт;  $a_1 = b_1 = c_1 = 1$ ; визначається за формулою (2):

$$N_e = N_{\text{мак}} [a_1(n_e/n_N) + b_1(n_e/n_N)^2 - c_1(n_e/n_N)^3] = 84,6[1(3000/3200) + 1(3000/3200)^2 - 1(3000/3200)^3] = 83,96 \text{ кВт.}$$

Потужність механічних втрат визначається за формулою (7):

$$N_{\text{мех}}^K = 0,43 \cdot N_e = 0,43 \times 83,96 = 36,1 \text{ кВт.}$$

Витрата палива визначається за формулою (9) при:  $g_i^K = 340$  г/(кВт.год);  $t_{\text{обк}} = 0,083$  год.

$$Q_{\text{обк}}^X = g_i^K \cdot N_{\text{мех}}^K \cdot t_{\text{обк}}^K = 340 \times 36,1 \times 0,083 = 1018,74 \text{ г} \approx 1,02 \text{ кг.}$$

Для наближених розрахунків вибирались критично можливі розрахункові параметри, при яких витрати палива найбільші.

Дані розрахунків зводимо в табл. 2.

Таблиця 2

Результати розрахунків витрат палива\*

Стадії гарячого припрацювання	Частота обертання, хв. <sup>-1</sup>	Питома витрата палива, г/(кВт.год.)	Тривалість припрацювання, хв.	Потужність, кВт	Витрата палива, кг
Без навантаження (холостий хід)	2000	340	20	$N_{\text{мех}} = 28,06$	3,15
З навантаженням I стадія	2200	380	25	$N_n = 14,7$	4,64
З навантаженням II стадія	2800	380	25	$N_n = 36,8$	6,58
Контрольне випробування	3000	340	5	$N_{\text{мех}} = 36,1$	1,02
<b>Всього:</b>			75		<b>15,39</b>

\* Наведені норми витрат палива нормативами служити не можуть.

Із вищенаведеного видно, що на припрацювання двигуна моделі ЗМЗ-53 за стандартними режимами, рекомендованими технічними умовами, на його капітальний ремонт [14] необхідно витратити 15,39 кг палива, при тій умові, що розрахунок проводився з використанням максимальних значень показників, за якими визначають витрати палива. За даними джерела [5] на припрацювання двигуна ЗМЗ-53 на авторемонтних заводах планується витратити 15 л палива, що приблизно на 4 кг менше, ніж за розрахунками (можливо заводська підгонка спряжених пар двигуна дає можливість приймати менші ефективні питомі витрати палива). Аналіз витрат палива на припрацювання двигуна ЗМЗ-53 за інформаційними джерелами [4, 6] показує, що при потужності двигуна 115 к.с. на його припрацювання повинно бути витрачено:

$$Q_n = N_{\text{мак}} \cdot g_n, \text{ л,} \tag{17}$$

де  $N_{\text{мак}}$  – потужність двигуна ( $N_{\text{мак}} = 84,6$  (115) кВт (к.с.);

$g_n$  – витрати палива на обкатку двигуна на 1 к.с.(кВт),  $g_n = 0,25(255)$  л/к.с.(г/кВт) [3, 5];



$$Q_n = 115 \times 0,25 = 28,75 \text{ л.} \approx 21,58 \text{ кг.}$$

Проаналізувавши результати наближених розрахунків, наведених у табл. 3, та рекомендованих витрат палива за інформаційними джерелами [4–6], можна зробити висновок, що розрахункова витрата палива на припрацювання двигуна в одному випадку вища, а в іншому – нижча. Наведені дані свідчать про можливість використання методики для наближених розрахунків витрат палива при перспективному плануванні діяльності автогосподарств та ремонтних підприємств, які займаються поточними та капітальними ремонтами двигунів внутрішнього згорання.

**Висновок.** Отже, у перспективі дана методика буде перевірена на діючих стендах з поступеневим заміром витрат палива на кожній стадії припрацювання двигуна за методиками, наведеними в [25, 26].

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. ДСТУ 2823-94. Зносостійкість виробів. Тертя, зношування та мащення. Терміни та визначення. – Чинний від 01.01.1996. – К.: Держстандарт України, 1995. – 31 с.
2. Справочник по техническому обслуживанию автомобилей / Под редакцией Я.И. Несвитского. – К.: Техніка, 1967. – 286 с.
3. Колесник П.А. Материаловедение на автомобильном транспорте. – М.: Транспорт, 1987. – 271 с.
4. Клебанов Б.В., Кузьмин В.Г., Маслов Р.И. Ремонт автомобилей. – М.: Транспорт, 1968. – 360 с.
5. Клебанов Б.В. Проектирование производственных участков авторемонтных предприятий. – М.: Транспорт, 1975. – 176 с.
6. Афанасьев Л.Л., Иларионов В.А и др. Справочник автомобильного механика. – М.: Машгиз, 1959. – 892 с.
7. Канарчук В.Е., Лудченко О.А., Чигринцев А.Д. Основы технического обслуживания і ремонту автомобілів: У 3 кн. – Кн. 3. Ремонт автотранспортних засобів. – К.: Вища школа, 1994. – 599 с.
8. Шадричев В.А., Ремонт автомобилей. – М.–Л.: Машиностроение, 1965. – 616 с.
9. Справочник технолога авторемонтного производства / Под редакцией Г.А. Малишева. – М.: Транспорт, 1977. – 432 с.
10. Шадричев В.А. Ремонт автомобилей. – М.: Высшая школа, 1970. – 180 с.
11. Техническое обслуживание и ремонт машин / Под редакцией П.В. Лауша. – К.: Вища школа, 1989. – 351 с.
12. Шадричев В.А. Основы технологии автостроения и ремонт автомобилей. – Л.: Машиностроение, 1976. – 560 с.
13. Клейтман С.Л., Лагунов Л.Я. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей и прицепов в автохозяйствах. – Харьков: Изд-во Харьковского государственного университета, 1965. – 420 с.
14. Технические условия на капитальный ремонт автомобилей ГАЗ-53А. – М.: Транспорт, 1968. – 456 с.
15. Савченко В.И. Ремонт техники в колхозах и совхозах. – М.: Россельхозиздат, 1975. – 216 с.
16. Бабусенко С.М. Ремонт тракторов и автомобилей. – М.: Агропромиздат, 1987. – 351 с.
17. Румянцев С.И., Синельников А.Ф., Штоль Ю.Л. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей. – М.: Машиностроение, 1989. – 272 с.
18. Єрмолов Л.С., Нуменко О.А., Сидашко О.І., Шержуков І.Г. Ремонт дизельних двигунів: Довідник. – К.: Урожай, 1991. – 245 с.
19. Иларионов В.А., Морин М.М., Сергеев Н.М. Теория и конструкция автомобиля. – М.: Машиностроение, 1979. – 303 с.
20. Артамонов М.Д., Иларионов В.А., Морин М.М. Теория автомобиля и автомобильного двигателя. – М.: Машиностроение, 1968. – 283 с.
21. Гаспарянц Г.А. Конструкция, основы теории и расчета автомобиля. – М.: Машиностроение, 1978. – 351 с.
22. Автомобильные двигатели / Под ред. М.С. Ховаха. – М.: Машиностроение, 1977. – 591 с.
23. Литвинов А.С., Фаробин Я.Е. Автомобили: Теория эксплуатационных свойств. – М.: Машиностроение, 1989. – 240 с.
24. Краткий автомобильный справочник. – М.: Транспорт, 1984. – 220 с.
25. Трубников Г.И. Практикум по автотракторным двигателям. – М.: Колос, 1968. – 223 с.
26. ГОСТ 14846-81. Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний. – М.: Госстандарт СССР, 1981. – 62 с.

БОГАТЧУК Іван Михайлович – кандидат технічних наук, доцент кафедри нафтогазового технологічного транспорту і теплотехніки Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

Наукові інтереси:

– тертя і знос в машинах.

Тел.: 51-10-99 (дом.) 8-0967835280 (моб)

E-mail: [bobo1983@meta.ua](mailto:bobo1983@meta.ua)

БОГАТЧУК Михайло Іванович – економіст відділу економіки та організації виробництва по обслуговуванню транспорту та спецтехніки ЦНЕСД ВАТ «Укрнафта».

Наукові інтереси:

– вдосконалення методик визначення витрат палива при експлуатації агрегатних установок з приводом від двигунів внутрішнього згоряння.

КУЧЕРЕНКО Володимир Данилович – начальник відділу економіки та організації виробництва по обслуговуванню транспорту та спецтехніки ЦНЕСД ВАТ «Укрнафта».

Наукові інтереси:

– нормування витрат палива при експлуатації нафтогазового технологічного транспорту.

Подано 11.06.2008

**Богатчук І.М., Богатчук М.І., Кучеренко В.Д.** Методика визначення витрат палива на припрацювання двигунів внутрішнього згорання

**Богатчук И.М., Богатчук М.И., Кучеренко В.Д.** Методика определения расхода топлива на приработку двигателей внутреннего сгорания

**Bogatchyk I.M., Bogatchyk M.I., Kycherenko V.D.** Procedure of definition of a fuel flow on a running-in of internal combustion engines

УДК 622

**Методика определения расхода топлива на приработку двигателей внутреннего сгорания / И.М. Богатчук, М.И. Богатчук, В.Д. Кучеренко**

В работе проанализированы существующие нормы затрат топлива на приработку двигателей внутреннего сгорания и разработана методика определения затрат топлива расчетным методом на каждой стадии горячей приработки без нагрузки и под нагрузкой. При разработке методики, использованы индикаторные и эффективные показатели мощности и экономичности двигателей, а также предложены эмпирические формулы для определения вспомогательных коэффициентов, которые учитывают изменение эффективной удельной затраты топлива в зависимости от частоты вращения коленчатого вала и степени использования мощности двигателя на частичных нагрузочных режимах. Методика может быть использована для приближенного расчета затрат топлива на приработку двигателей внутреннего сгорания в автохозяйствах и ремонтных организациях.

УДК 622

**Procedure of definition of a fuel flow on a running-in of internal combustion engines / I.M. Bogatchyk, M.I. Bogatchyk, V.D. Kycherenko**

In work the analyzed existing norms of expenses of fuel on extra earnings of engines of internal combustion and the developed technique of definition of expenses of fuel a settlement method at each stage hot extra earnings without loading and under loading. By development of the technique, the used display and effective parameters of capacity and profitability of engines, and also the suggested empirical formulas for definition of auxiliary factors which take into account change of an effective specific expense of fuel depending on frequency of the reference manipulation of a cranked shaft and a degree of use of capacity of the engine on partial loading modes. The technique can be used for the approached calculation of expenses of fuel on extra earnings of engines of internal combustion in motor transport services and the repair organizations.