

Лабораторна робота № 6

«Експериментальні методи визначення показників паливної економічності автомобілів»

Мета роботи: з'ясувати необхідність і засвоїти методи визначення показників паливної економічності автомобілів

Теоретичні відомості

1. Визначення і оціночні показники паливної економічності

Паливна економічність - сукупність властивостей автомобіля, котрі визначають витрати палива при виконанні транспортної роботи в різних умовах експлуатації.

Зниження витрати палива на транспорті є важливою складовою частиною програми переведення економіки на енергозберігаючі шляхи розвитку.

Паливна економічність автомобіля в значній мірі визначається такими показниками двигуна, як годинна витрата палива G_T , кг/год - маса палива, яка витрачається двигуном за 1 годину роботи, яка і питома витрата палива g_e , г/кВт · год - маса палива, яка витрачається двигуном за 1 годину роботи (на повній потужності) на одиницю потужності двигуна.

В нашій і багатьох європейських країнах основним вимірювачем паливної економічності автомобіля є витрата палива в літрах на 100 км пройденого шляху, Q_s , л. Оцінка ефективності використання палива при виконанні транспортної роботи (100 т·км), Q_w , л/100 т·км - відношення фактичної витрати палива до виконаної транспортної роботи.

Поряд зі шляховою витратою палива використовують такий показник, як довжина пробігу на одиницю об'єму використаного палива.

Згідно діючих стандартів основними показниками паливної економічності є:

1. Контрольна витрата палива (використовується для побічної оцінки технічного стану транспортного засобу);

2. Витрата палива в магістральному їздовому циклі на дорозі (транспортні засоби всіх категорій, крім міських автобусів, пробігом по вимірювальній ділянці з дотриманням режимів руху, заданих визначеною картою і схемою руху) (рис.1):

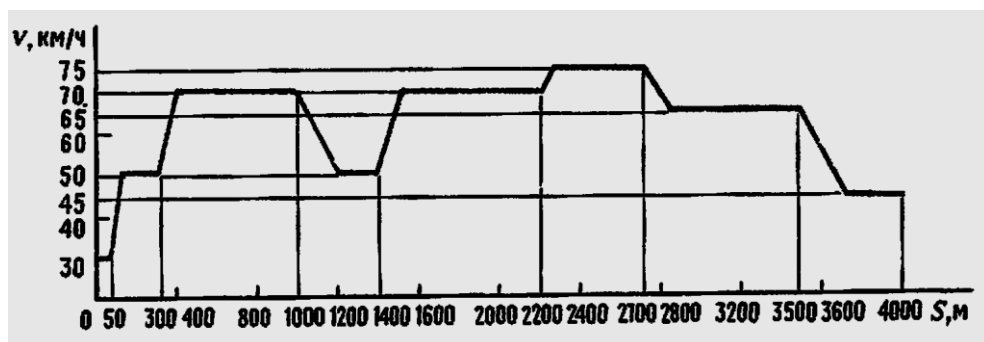


Рис. 1. Загальний вигляд схеми руху для визначення витрати палива в магістральному їздовому циклі на дорозі

3. Витрата палива на міському їздовому циклі на дорозі (оцінюють для автотранспортних засобів всіх категорій, крім магістральних автопоїздів, міжміських і туристичних автобусів за такою ж методикою, як і в магістральному їздовому циклі, але за іншою схемою);

4. Витрата палива в міському циклі на стенді (визначають тільки для автомобілів масою до 3,5 т випробуванням на стенді з біговими барабанами по їздовому циклу згідно операційній карті і схемі циклу)

5. Паливна характеристика сталого руху автомобіля – залежність шляхової витрати палива Q_s від швидкості руху автомобіля v_a (рис.2):

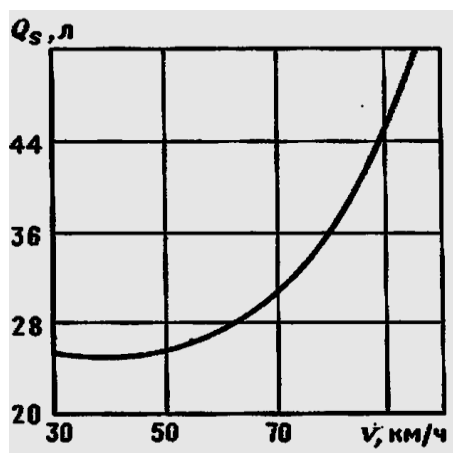


Рис.2. Паливна характеристика сталого руху автомобіля

6. Паливно-швидкісна характеристика на магістрально-горбкуватій дорозі (оцінка паливної економічності магістральних автопоїздів, міжміських і туристичних автобусів)

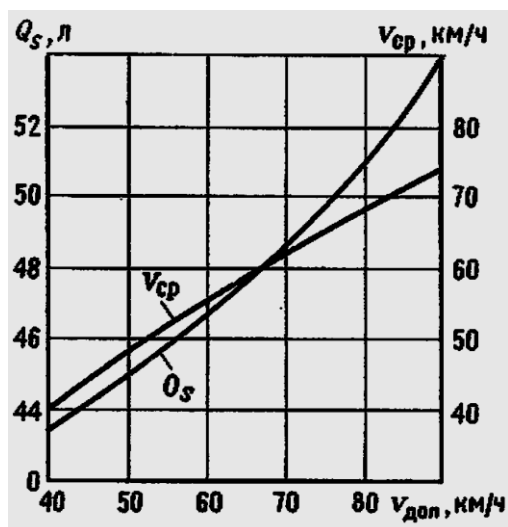


Рис.3. Паливно-швидкісна характеристика руху автомобіля по магістрально-горбкуватій дорозі

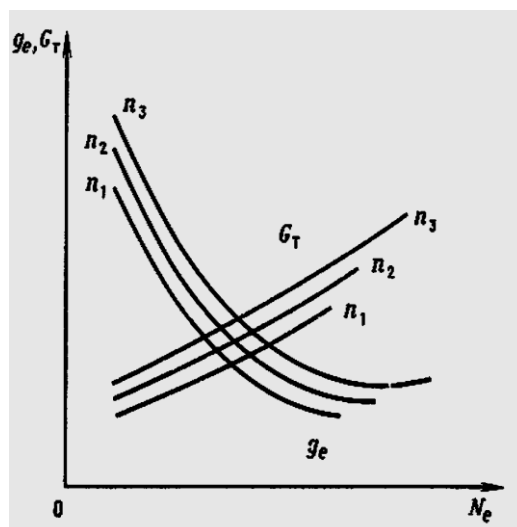


Рис.4. Нагрузочна характеристика двигуна

Для розрахунку витрати палива Q_s іноді зручно використовувати графік залежності g_e , від коефіцієнта використання потужності $B_N = \frac{N_i}{N_{e \max}}$, який може бути отриманий по нагрузочній і зовнішній характеристикам двигуна (рис.4).

Питома витрата палива пов'язана з годинною наступною залежністю:

$$g_e = 1000 \frac{G_T}{M_e} \quad (1)$$

звідки

$$G_{\Gamma} = \frac{g_e N_e}{100} = \frac{g_e N_k}{1000\eta_{\Gamma}} = \frac{g_e (N_f \pm N_h + N_w \pm N_j)}{1000\eta_{\Gamma}} = \frac{g_e V_a (P_f \pm P_h + P_w \pm P_i)}{1000\eta_{\Gamma}} \quad (2)$$

де: N_k - потужність, яка підводиться до ведучих коліс автомобіля, в свою чергу між витратами Q_s і G_{Γ} існує залежність:

$$Q_s = \frac{1000G_{\Gamma}}{36 \cdot V_a \cdot \rho_n} \quad (3)$$

де: V_a - швидкість автомобіля, км/год;

ρ_n - густина палива, кг/л.

Підставивши в рівняння (3) значення G_{Γ} , отримуємо рівняння витрати палива:

$$Q_s = \frac{g_e (N_f \pm N_h + N_w \pm N_j)}{36 \cdot V_a \cdot \rho_n \cdot \eta_{\Gamma}} = \frac{g_e (P_f \pm P_h + P_w \pm P_i)}{36000 \rho_n \cdot \eta_{\Gamma}} \quad (4)$$

Знайти витрату палива за допомогою рівняння (4) можливо лише тоді коли відома залежність $g_e = f(N_e; \omega_e)$. При відсутності цієї залежності користуються різними методами:

1 метод. Метод І.С. Шліппе:

$$g_e = g_N \cdot K_{B_N} \cdot K_{\omega} \quad (5)$$

де: g_N - питома витрата палива при максимальній потужності двигуна;

$K_{B_N}; K_{\omega}$ - коефіцієнти, що враховують залежність питомої витрати палива відповідно від ступеня використання потужності двигуна і частоти обертання колінчастого вала двигуна.

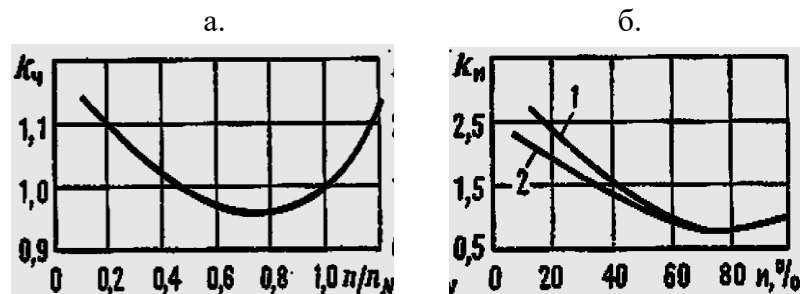


Рис. 5. Залежності для визначення коефіцієнтів K_{B_N} (а); K_{ω} (б). Двигун: а – бензиновий; в – дизель.

2 метод. Він заснований на тому, що для будь-якого режиму роботи двигуна годинна витрата палива при частковому навантаженні двигуна може бути визначена за формулою:

$$G_{\Gamma ч} = G_{\Gamma 100} (a_{B_N} \cdot B_N^2 + b_{B_N} \cdot B_N + c_{B_N}) \quad (6)$$

де: $G_{\Gamma 100}$ - годинна витрата палива при повному навантаженні двигуна за тієї самої частоти обертання, за якої визначається витрата палива $G_{\Gamma ч}$ при його частковому навантаженні.

Для одержання залежності визначення витрати палива формулу (4) з урахуванням рівняння (2) та (6) записують у вигляді

$$Q_s = \frac{G_{\Gamma 100} (a_{B_N} \cdot B_N^2 + b_{B_N} \cdot B_N + c_{B_N})}{36 \cdot V_a \cdot \rho_n} \quad (7)$$

де: a_{BN} , b_{BN} , c_{BN} - коефіцієнти одержані внаслідок обробки експериментальних залежностей.

Залежність $Q_{г100} = f(\omega)$ є обов'язковим елементом швидкісної характеристики двигуна. Користуючись залежністю $\mathcal{V}_a = \frac{\omega_{rk}}{u_T}$, можна отримати залежність $Q_{г100} = f(\mathcal{V}_a)$ - в зв'язку з тим, що залежність ($Q_{г100} = f(v)$) знімають на стенді на усталених режимах, то і отримані на їх основі значення Q_s справедливі також для усталених режимів.

2. Паливно-економічна характеристика

Паливно-економічна характеристика - це залежність витрат палива на 100 км шляху Q_{S_i} від швидкості $\mathcal{V}_i$ та сумарного опору дороги ψ_i , за умови, що $\mathcal{V}_i(\psi_i)$ - стала величина.

Ця характеристика розроблена академіком Є.О. Чудаковим (рис.6).

Для побудови цієї характеристики треба врахувати весь діапазон зміни швидкості руху v_a , тобто характеристика повинна відбити якість конструкцій автомобіля при роботі на всіх передачах і у всьому діапазоні змін опору руху ψ_i .

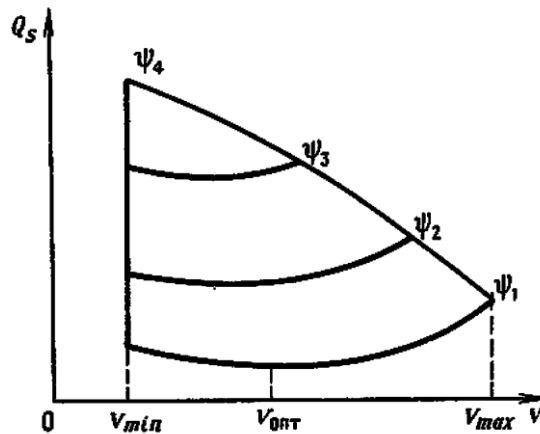


Рис.6. Паливно-економічна характеристика автомобіля

Сімейство кривих $Q_s = f(\mathcal{V}_a)$ ліворуч обмежене лінією, яка з'єднує всі точки мінімальних усталених швидкостей руху, а праворуч та згори - кривою, яка відповідає витратам палива при повному використанні потужності двигуна.

Паливно-економічна характеристика може бути побудована на основі результатів дорожніх (стендових) випробувань або аналітичних розрахунків.

4. Методика розрахунку паливної економічності

Середня витрата палива на заданому маршруті може бути визначена кількома методами:

Графічно-аналітичний метод. Метод найбільш простий, але й найменш точний. При його використанні цього метода маршрут задається у вигляді ділянок довжиною S_i з ухилами i_i , за умови збереження усталеного руху знаходимо $\mathcal{V}_i$ на кожній ділянці. Знаючи величини $\mathcal{V}_i$ та S_i можна визначити час руху на кожній ділянці і за формулою:

$$Q_{S_i} = t_i \cdot Q_{S_i} = \frac{1000 \cdot G_r \cdot t_i}{36 \cdot \mathcal{V}_a \cdot \rho_n}. \quad (8)$$

Витрата палива на маршруті:

$$Q_{S_i} = \sum_{i=1}^n Q_{S_i} \quad (9)$$

де: n - кількість ділянок.

Спосіб визначення середньої витрати пального на маршруті на основі знайденої по динамічній імовірнісній характеристиках середньої швидкості руху автомобіля.

Ймовірнісна характеристика уявляє собою інтегральну криву розподілу сумарного опору дороги ψ , яка побудована за статичними даними за дорожніх умов, в яких передбачається експлуатація автомобіля.

Маючи динамічний паспорт автомобіля і інтегральну криву розподілу опору дороги за довжиною шляху їх графіки будують відповідно в першому і другому квадрантах координатної площини (рис. 7):

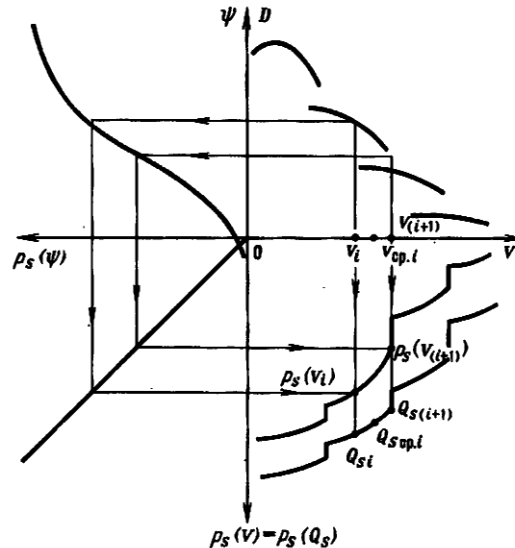


Рис. 7. До розрахунку середньої витрати палива на заданому маршруті

В третьому квадранті проводиться пряма переходу від ймовірності ψ по шляху до ймовірності по шляху. В четвертому квадранті будується крива, кожна точка якої визначає ймовірність руху автомобіля з відповідною їй швидкістю і більшою. В цьому самому квадранті будують криву паливно-економічної характеристики усталеного руху на кожній передачі за умови повного використання потужності двигуна, тобто при русі автомобіля по ділянці із заданим значенням опору ψ і повній подачі палива.

Прямі, паралельні осі ординат в четвертому квадранті, які перетинають вісь абсцис в точках V_i та V_{i+1} , притинають також і ламану криву витрати палива і ламану криву розподілу швидкості. Ординати точок перетину кривої розподілу швидкості. Ординати точок перетину кривої розподілу швидкості по довжині шляху відповідають ймовірності руху зі швидкостями V_i та V_{i+1} та вищими. Вірогідність руху для цього інтервалу швидкостей:

$$F_S(V_i) - F_S(V_{i+1}) = f_S(V_{i+1} - V_i) \quad (10)$$

Для цього інтервалу може бути використана середня в інтервалі швидкість руху $V_{ср\ i}$.

Ординати перетину проведених прямих з кривою витрати палива визначають також інтервал витрати палива для інтервалу швидкостей, який може бути замінений на середню витрату палива в цьому інтервалі:

$$Q_{S\ i\ cp} = \frac{Q_{Si} + Q_{Si+1}}{2} \quad (11)$$

Очевидно, що ймовірність руху зі швидкістю $V_{i\ сep}$ дорівнює ймовірності витрати палива $Q_{S\ i\ сep}$, тобто:

$$f_s(v_{i\text{ сеп}}) = f_s(Q_{s\ i\text{ сеп}}) \quad (12)$$

В наступному інтервал швидкостей руху поділяється на i інтервалів (чим більше інтервалів тим точніший результат) та проводяться відповідні побудови та розрахунки. В результаті отримуються f_{si} , $v_{i\text{ сеп}}$, $Q_{s\ i\text{ сеп}}$ для всіх відрізків і за формулами:

$$v_{\text{сеп}} = \sum_{i=1}^n f_{si}(v_{i\text{ сеп}}) \quad (13)$$

$$Q_{s\text{ сеп}} = \sum_{i=1}^n f_{si}(Q_{s\ i\text{ сеп}}) \quad (14)$$

підраховуються ймовірності значення середньої швидкості руху та витрати палива на заданій інтегральною кривою $F_s(\psi)$ ділянки маршруту.

Більш точний спосіб визначення $Q_{s\text{ сеп}}$ заснований на діленні ділянок маршруту по характеру режиму руху і використання відповідних отриманих раніше формул для підрахунків витрати палива при заданому шляху, часу і інтервалах швидкостей руху на цих ділянках з наступним підсумовуванням з використанням ЕОМ цих значень для всього маршруту.

5. Вплив експлуатаційних факторів на паливну економічність

На основі аналізу економічних характеристик автомобіля можна стверджувати, що на витрату палива автомобілем під час виконання транспортної роботи здійснюють кон'яктивні, експлуатаційні і професіональні фактори.

До головних конструктивних факторів впливу на паливну економічність відносяться:

- тип двигуна.

Переваги дизелів в цьому напрямку зумовлено як більш низькими значеннями питомої витрати палива $g_{e\text{ min}}$, так і меншою залежністю g_e , від використання потужності двигуна. При зменшенні коефіцієнта використання потужності зі 1,0 до 0,1 у карбюраторних двигунів g_e зростає майже в 3 рази, а у дизелів - на 30% (рис. 8). Це дозволяє при заміні карбюраторного двигуна на дизель знизити витрату палива легкових автомобілів на 25 ... 30%, вантажних автомобілів і автобусів - на 30 ... 40%.

- конструкція механізмів і систем двигуна.

В першу чергу до цього відносяться конструкції систем живлення і запалювання, ступінь стиску паливної суміші. Показники паливної економічності поліпшуються при застосуванні електронної системи запалювання, використання мікропроцесорів для оптимізації складу суміші і випередження запалювання, встановлення форкамерно-факельного запалювання, системи безпосереднього впорскування бензину.

Ефективним в цьому напрямку є також використання двигунів з наддувом і охолодженням повітря, яке нагнітається; відключення частини циліндрів на часткових режимах роботи двигуна. Автоматичне відключення допоміжних агрегатів, напрямку вентилятора системи охолодження (економія палива до 3%). Зниження механічних втрат в двигунах може дати 4...10% економії палива.

- удосконалення робочого процесу двигуна.

В даний час проводяться роботи по створенню двигунів, в яких робочий процес близький до адіабатного, тобто втрати тепла в охолоджуюче середовище мінімальні, завдяки чому очікується економія палива 15...25%.

- питома потужність двигуна.

Питома потужність двигуна ($N_n = \frac{N_e}{G_a}$) в великій мірі визначає коефіцієнт використання потужності. Недовантаженість двигуна викликає невиправдане збільшення витрати палива.

- тип трансмісії та її параметри.

Використання безступінчастих трансмісій дозволяє забезпечити роботу двигуна на оптимальних режимах в широкому діапазоні умов руху. Зменшенню витрати палива при використанні транспортної роботи сприяє також збільшення числа передач ступінчастих трансмісій, а також оптимізація значень передаточних чисел. В зв'язку з цим все ширше на легкових автомобілях використовують 5 і більше ступінчасті, а на вантажних - 8...20 ступінчасті коробки передач.

- повна маса автомобіля.

Зміна повної маси автомобіля M_a впливає на витрату палива (рис. 8) головним чином в результаті зміни сили P_k . Значення M_a також визначає сили P_p і P_j .

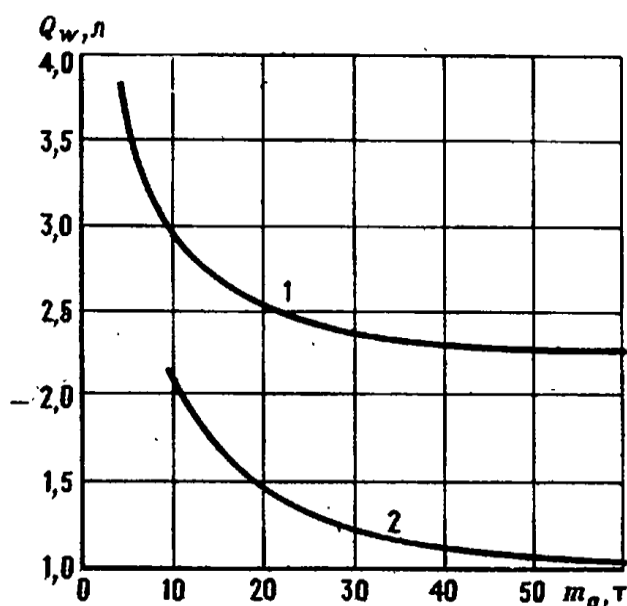


Рис. 8. Залежність середньої питомої витрати палива від повної маси автомобіля з карбюраторними двигунами (1) і дизелями (2)

На основі аналізу витрати палива сучасними автомобілями встановлена лінійна залежність витрати Q_s від маси M_a :

$$Q_s = a + bM_a \quad (15)$$

де: a, b - коефіцієнти регресій, визначені для різних автомобілів і доріг.

Поділивши рівняння на M_a отримаємо рівняння питомої витрати палива $Q_{wл}/100m \cdot \text{км}$:

$$Q_w = b + \frac{a}{M_a} \quad (16)$$

Проаналізуємо залежності $Q_w = f(M_a)$ для сучасних вітчизняних автомобілів.

Аналіз наведених графіків дозволяє стверджувати, що при підвищенні повної маси і частки корисного навантаження в цілому зменшується питома витрата палива, при чому вплив підвищення повної маси автомобіля на паливну економічність має найбільшу ефективність при малих і середніх значеннях M_a .

При цьому важливо збільшувати масу вантажу за рахунок зменшення власної сили автомобіля, чого можна досягти при раціональному виборі компонованої схеми автомобіля, створенні рівномірних конструкцій різних елементів шасі і кузова, широкому використанні високозамінних сталей, алюмінію, пластмас, композитних матеріалів тощо.

- аеродинамічні властивості автомобіля.

Зменшення коефіцієнта обтічності легкових автомобілів на 25% дає можливість зменшити витрати палива на $\sim 10\%$. Реалізація повного комплексу міроприємств по покращенню аеродинаміки вантажного автомобіля, автопоїзда може забезпечити зниження опору повітря на $\sim 50\%$ (при $V_a = 15 \dots 25$ м/с) і зменшити витрати палива на 10... 15%.

- енергетичні характеристики шин.

Зменшення коефіцієнта опору кочення шини $f_{ш}$ на 10% за рахунок удосконалення її конструкцій дозволить знизити витрату палива на 2,5... 3,5%.

Основними експлуатаційними факторами впливу на паливну економічність автомобіля є:

- вибір оптимальної швидкості руху.

Висновок про вплив швидкості руху автомобіля на його паливну економічність можна зробити на основі аналізу графіка $Q_s = f(V_a)$ (рис. 8,9).

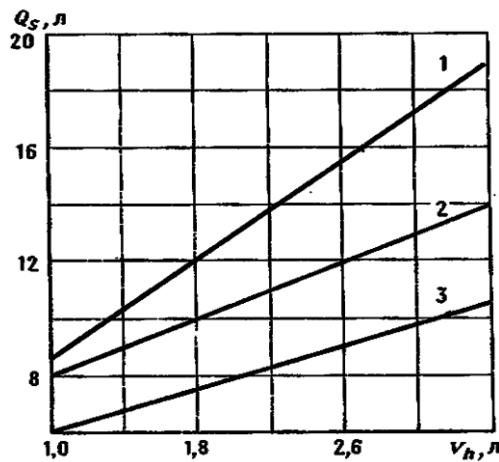


Рис.9. Залежність витрати палива легкового автомобіля від літражу двигуна

1 – міський цикл; 2 - $V_a=120$ км/год; 3 - $V_a=90$ км/год

Значення $V_{a \text{ опт}}$ звичайно невелике (7... 8 м/с - для вантажних і 10... 12 м/с легкових автомобілів, тому оптимізувати процес руху тільки по паливній економічності недоцільно)

- вантажопідйомність і коефіцієнт використання вантажопідйомності.

Збільшення коефіцієнта використання вантажопідйомності означає збільшення частки маси вантажу в повній масі автомобіля, тобто збільшення частки палива на виконання транспортної роботи. Найбільша економія палива на одиницю маси вантажу, що перевозиться, має місце при використанні автопоїздів. Це пояснюється перш за все виконання маси (для причепів $\eta_v = 2 \dots 2,5$, для напівпричепів $\eta_v = 3 \dots 4$). Крім того, зменшується співвідношення P_B/M_B , оскільки зростання M_B автопоїзда в 2 рази викликає збільшення P_B всього на 20...25%, збільшується коефіцієнт використання потужності.

- технічний стан автомобіля.

Технічний стан автомобіля має значний вплив на питому витрати палива і сили опору руху і в наслідку, на його економічність.

Збільшення питомої витрати палива де може бути наслідком порушень роботи систем живлення і запалювання, регулювання зазорів клапана механізму і фаз газорозподіл, виникнення нагару на стінках камери згорання і днищах поршнів, порушення роботи систем охолодження і мащення, використання низькосортних видів палива, відсутність вільного ходу педалі зчеплення (пробуксовка) і зменшення зазорів в гальмових механізмах, надмірний знос вузлів і агрегатів автомобіля, що викликає виникнення вібрацій. Зменшення тиску повітря в

шинах і порушення кутів встановлення коліс також негативно впливає на паливну економічність автомобіля.

Професійна майстерність водія має суттєвий вплив на показники паливної економічності керованого ним автомобіля.

Для економії палива можуть бути рекомендовані спеціальні прийоми водіння:

- оптимальна економічна швидкість руху повинна бути на горизонтальній ділянці дороги $\sim 0,75 V_{max}$;

- частота обертання колінчастого вала двигуна $\omega_{сер} = 0,6..0,7 \omega_N$;

- на горизонтальній ділянці дороги необхідно використовувати вищі передачі, віддаючи перевагу останній;

- у всіх випадках необхідно забезпечувати рівномірний рух автомобіля без різних розгонів і гальмувань, зайвих переключень передач;

- в процесі руху необхідно використовувати режими роботи двигуна, які забезпечують найменшу витрати палива згідно його багатопараметрової паливної характеристики.

Економія палива при використанні цих прийомів може досягати 20..25%

6. Паливна економічність і екологічна безпека

В результаті роботи автомобільних двигунів в атмосферу викидаються шкідливі речовини. На долю відпрацьованих газів автотранспортних засобів випадає більше 50% всіх шкідливих речовин, які викидаються в атмосферу. За кожний кілометр пробігу автомобіль викидає в атмосферу біля 100 г токсичних речовин.

Практично всі міроприємства, спрямовані на покращення паливної економічності, впливає на кількість шкідливих викидів в атмосферу та на їх склад.

Шкідливими компонентами відпрацьованих газів є оксид вуглецю CO, вуглеводневі з'єднання CH, оксиди азоту NO_x, тверді частинки (сажа), оксиди сірки, солі свинцю. Нормативними документами передбачена межа концентрації в атмосфері (вг/м³) CO - 0,001, CH - 0,0015, NO₂- 0,000085. Більшість міроприємств, спрямованих на підвищення паливної економічності призводить до зниження в відпрацьованих газах CO. Так вміст CO в відпрацьованих газах дизельних двигунів в 10 разів менше, ніж у карбюраторних. До зниження CO призводять всі міроприємства, спрямовані на покращення сумішоутворення і згорання палива в циліндрах, більш рівномірний розподіл суміші по циліндрах, використання електронних і електромеханічних систем впорскування, безконтактних транзисторних систем запалювання, регулювання оптимальної температури двигуна, використання форкамерно-факельних процесів і пошарового запалювання, а також використання газоподібного палива і бензоводневих сумішей.

В той же час деякі міроприємства, спрямовані на зниження витрати палива, є причиною збільшення вмісту в відпрацьованих газах інших токсичних складових: в відпрацьованих газах дизелів збільшений вміст CH, NO_x і особливо небезпечних ароматичних вуглеводнів (бензопирену) та сажі; підвищення ступеня стиску карбюраторних двигунів супроводжується збільшенням викидів NO_x, а використання протидетонаційних присадок в бензині для двигунів збільшує викиди в атмосферу сильнотоксичних солей свинцю.

Кількість токсичних речовин в відпрацьованих газах в значній мірі залежить від технічного стану систем і агрегатів автомобіля, які впливають на витрату палива.

Перспективними конструктивними напрямками зменшення шкідливих викидів в атмосферу є обладнання автомобілів системами допалювання відпрацьованих газів і каталізаторів.

Обладнання: автомобіль ДЕУ «Ланос», каністра з паливом з вмонтованим паливним електронасосом, ваги електронні, витратомір палива, штатні прилади автомобіля для вимірювання шляху і швидкості руху автомобіля, секундомір-таймер.

Контрольні запитання

1. Перелічити показники паливної економічності автомобіля і навести формули для їх визначення.
2. Описати вимоги до автомобіля та умов проведення випробовувань на паливну економічність автомобіля.
3. Навести основні фактори впливу на паливну економічність автомобіля.
4. Навести і пояснити схему міського циклу АТЗ з повною масою понад 3,5 т. та відповідну операційну карту.
5. Пояснити способи вимірювання швидкості руху автомобіля та пройденого шляху при випробуваннях на паливну економічність.
6. Пояснити способи і межі використання вимірювань витрати палива при випробуваннях на паливну економічність.