

Лабораторна робота №1

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ РУХУ АВТОМОБІЛЯ ЗА КРИТЕРІЄМ МІНІМУМУ ВИТРАТИ ПАЛИВА НА ЗАДАНОМУ МАРШРУТІ

Мета роботи: провести оптимізацію режимів руху автомобілів за критерієм мінімуму витрати палива на заданому маршруті

Теоретичні відомості

При експлуатації автомобілів застосовуються різні види норм витрати палива і мастильних матеріалів (базова лінійна норма, норма на виконання транспортної роботи, норма на одну тону спорядженої маси, питомі норми в г/т·км і г/т, індивідуальні норми й ін.).

Нижче розглядаються різні моделі нормування. При розробці науково-обґрунтованих норм витрати палива варто виходити з такого рівняння:

$$Q = \frac{1}{\eta_i} [A \cdot i_k + B \cdot i_k^2 \cdot V_a + C (G_0 + G_{np}) \psi + 0.077 C \cdot kF \cdot V_a^2] \text{ л/100 км, (1.1)}$$

де G_0 і G_{np} – вага порожнього автомобіля і причепа, Н; i_k – передаточні числа головної передачі і коробки передач; kF – фактор обтічності автомобіля, $\text{Н} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-2}$; A , B , C – постійні для даного автомобіля коефіцієнти, η_i – індикаторний ККД двигуна ($3600 / (H_n \cdot g_i)$), де H_n – нижча теплотворна спроможність палива, кДж/кг (для бензину – 44000, для дизельного палива – 43000); g_i – індикаторна витрата палива (дизелі – 220...240 г/кВт·год, карбюраторні двигуни – 330...350 г/кВт·год)).

Середнє передаточне число коробки передач i_k та середній сумарний опір ψ знаходимо шляхом їх вираження через середню технічну швидкість автомобіля V_a :

$$i_k = \frac{n_M}{n_N} \cdot i_{kn} \cdot \frac{V_{\max}}{V_a}, \quad (1.2)$$

$$\psi = 0.01 \cdot \frac{V_{\max}}{V_a}, \quad (1.3)$$

де V_{\max} – максимальна швидкість автомобіля, км/г;

i_{kn} – передаточне число прямої (підвищеної) передачі;

n_M – число обертів двигуна при максимальному моменті;

n_N – число обертів двигуна при максимальній потужності.

Коефіцієнти A , B і C будуть мати такі вирази: $C = \frac{100}{H_n \cdot \rho_n \cdot \eta_{тр}}$,

$$\text{для дизелів } A_{\partial} = \frac{381 \cdot V_h \cdot i_0}{H_n \cdot \rho_n \cdot r_k}, B_{\partial} = \frac{11 \cdot V_h \cdot S_n \cdot i_0^2}{H_n \cdot \rho_n \cdot r_k^2}, \quad (1.4)$$

$$\text{для карбюраторних двигунів } A_k = \frac{358 \cdot V_h \cdot i_0}{H_n \cdot \rho_n \cdot r_k}, B_k = \frac{9 \cdot V_h \cdot S_n \cdot i_0^2}{H_n \cdot \rho_n \cdot r_k^2},$$

де V_h – об'єм циліндрів двигуна, л; S_n – хід поршня, м; i_0 – передаточне число головної передачі; ρ_n – густина палива, г/см³; $\eta_{\text{тр}}$ – ККД трансмісії; r_k – радіус колеса, м (для діагональних шин $r_k = 0.51 \cdot d_{\text{ш}} + 0.91 \cdot B_{\text{ш}}$, для радіальних шин $r_k \approx 0.52 \cdot d_{\text{ш}} + 0.93 \cdot B_{\text{ш}}$, де $d_{\text{ш}}$ – діаметр обода, $B_{\text{ш}}$ – ширина (висота) профілю).

З рівняння (1.1) неважко одержати формули для визначення основної і додаткової норм.

Основна норма H_0 , л/100 км, обчислюється за формулою

$$H_0 = \frac{1}{\eta_i} \left[A \cdot i_k + B \cdot i_k^2 \cdot V_a + C \cdot G_0 \cdot \psi + D \cdot V_a^2 \right], \quad (1.5)$$

де D – постійний для даного автомобіля коефіцієнт ($0.077C \cdot kF$).

Додаткова норма на кожну тонну вантажу (10^4 Н), перевезеного на 100 км, обчислюється за формулою

$$H_{\partial} = \frac{10^4 C \cdot \psi}{\eta_i} = \frac{10^6}{\eta_i \cdot H_n \cdot \rho_n \cdot \eta_{\text{тр}}} \cdot \psi. \quad (1.6)$$

Для бензинових автомобілів – $H_{\partial} = \left[0.06 \dots 0.118 \right] \psi$, для дизельних – $H_{\partial} = \left[0.62 \dots 0.65 \right] \psi$.

З метою більш точного обліку атмосферно-кліматичних і гірських умов основну і додаткову норми варто помножити на величину, рівну добуткові $K_t \cdot K_h = \left[-0.5 \cdot 10^{-2} t \right] \cdot \left[+0.067 \cdot 10^{-3} h \right]$.

З урахуванням останніх залежностей основна норма витрати палива, л/100 км, для порожнього автомобіля визначається за формулою

$$H_0 = \left[K_1 / V_a + K_2 \cdot V_a^2 \right], \quad (1.7)$$

де $K_1 = \left[A \cdot K_c \cdot V_{\text{max}} \cdot i_{kn} + B \cdot K_c^2 \cdot V_{\text{max}}^2 \cdot i_{kn}^2 + 0.01C \cdot G_a \cdot V_{\text{max}} \right] / \eta_i$,
 $K_2 = 0.077C \cdot kF / \eta_i$.

Додаткова норма на перевезення вантажу для карбюраторних автомобілів розраховується за формулою

$$H_{\partial} = \left[0.06 \dots 0.118 \right] \bar{V}_{\text{max}} / V_a, \quad (1.8)$$

для дизельних

$$H_{\partial} = \left[0.62 \dots 0.65 \right] \bar{V}_{\text{max}} / V_a. \quad (1.9)$$

Отримані рівняння враховують швидкість руху автомобіля, а, отже,

дорожні і транспортні умови експлуатації. При наявності приведених вище розрахункових залежностей нормування витрати палива можна вести індивідуально для кожного автомобіля з обліком фактичних середніх швидкостей. У цьому випадку відпадає необхідність установлювати середні норми для кожної групи умов експлуатації.

Основну і додаткову норми можна, у разі потреби, розрахувати для кожної групи умов експлуатації (за класифікацією приведеною в 1 розділі). Для цього варто установити по групах доріг середні (розрахункові) значення сумарного опору ψ і технічної швидкості V_a .

У табл. 9.1 приведені розрахункові дані для ЗІЛ-431410. Значення середніх швидкостей і сумарного опору дороги узяті з приведеної вище класифікації.

В остаточному вигляді аналітичне рівняння нормування витрати палива, що враховує дорожні, транспортні й атмосферно-кліматичні умови експлуатації вантажних автомобілів, буде мати такий вигляд:

$$H = 0.01 \left(-0.5 \cdot 10^{-2} t \right) \left(+0.067 \cdot 10^{-3} h \right) \left[K_1 + K_2 \cdot V_a^3 \right] l_c + K_3 \cdot V_{\max} \cdot W / V_a, \text{ л} \quad (1.10)$$

де t - температура навколишнього повітря (зі знаком "+" або "-" °C); h – висота над рівнем моря, м; K_3 – постійний для даного автомобіля коефіцієнт (1.06... 1.18 для карбюраторних двигунів і 0.62... 0.65 для дизельних); W – виконана транспортна робота, т·км.

Основні і додаткові норми повинні більш точно враховувати кліматичні умови. Зараз у зимовий час в Україні можна підвищувати норми до 15 %. На АТП їх часто встановлюють по "верхньому" рівню. Точність нормування можна істотно підвищити, якщо строго враховувати щоденну зміну температури навколишнього повітря.

Таблиця 1.1 – Розрахункові норми для ЗІЛ-431410

Група умов експлуатації	Розрахункові значення		Основна норма H_0 , л/100 км	Додаткова норма H_d , л/100 т·км	Витрата палива з вантажем H , л/100 км	Відносний коеф. K
	Ш	V_a , км/год				
1	0.016	54	24.13	1.8	28.2	1.0
2	0.020	43	26.15	2.2	31.1	1.1
3	0.025	34	30.35	2.8	36.6	1.3
4	0.030	29	34.38	3.3	41.8	1.5
5	0.034 і >	25 і <	39.07	3.8	47.6	1.7

На АТП крім лінійних норм розраховують і питомі норми витрати бензину і дизельного палива вантажних автомобілів, автобусів і легкових таксі. За питомою витратою палива можна досить глибоко аналізувати

організацію транспортного процесу і вибирати найбільш економічний тип рухомого складу.

Нижче приведені основні залежності, що рекомендуються для розрахунку питомої витрати палива в л/т^окм і г/т^окм.

Для вантажних (відрядних) автомобілів

$$Q_n = 0.01K_t \cdot K_h \left(\frac{H_0}{q \cdot \gamma \cdot \beta} + H_\partial \right), \text{ л/т}^\circ\text{км.} \quad (1.11)$$

Якщо в останній вираз для визначення питомих норм витрати палива на одиницю транспортної роботи підставити приведене вище рівняння для H_0 і H_∂ , одержимо нову формулу для розрахунку питомих норм, л/т^окм, для карбюраторних і дизельних автомобілів

$$Q_n = \frac{0.01K_t \cdot K_h}{V_a} \left(\frac{K_1 + K_2 \cdot V_a^3}{q \cdot \gamma \cdot \beta} + K_3 \cdot V_{\max} \right), \text{ л/т}^\circ\text{км.} \quad (1.12)$$

Остання формула враховує швидкість руху автомобіля. З формули випливає, що зі збільшенням швидкості руху питомі норми знижуються за законом гіперболи. В даний час при розрахунку питомих норм швидкість руху автомобіля не враховується.

Для автомобільних потягів, л/т^окм

$$Q_n = 0.01K_t \cdot K_h \left(\frac{H_0 + H_\partial \cdot G_{np}}{q_{an} \cdot \gamma \cdot \beta} + H_\partial \right), \text{ л/т}^\circ\text{км.} \quad (1.13)$$

де G_{np} – власна маса причепа (напівпричепа), т;

q_{an} – загальна вантажопідйомність автомобіля і причепа, т.

Для автомобілів-самоскидів, л/т км

$$Q_n = 0.01K_t \cdot K_h \frac{H_0 + H_e \cdot Z_e}{q_c \cdot \gamma \cdot \beta}, \text{ л/т}^\circ\text{км.} \quad (1.14)$$

де Z_e – число їздок автомобіля-самоскида з вантажем;

H_e – надбавка за кожну їзду самоскида (0.25 л).

Додаткова норма для автосамоскидів і самоскидних автопоїздів враховує маневрування при виконанні вантажно-розвантажувальних робіт за одну їзду з вантажем.

При погодинній оплаті роботи вантажних автомобілів норма при погодинному обліку, л/100^окм – $Q_n = 0.01K_t \cdot K_h \cdot H_0 / (q \cdot \gamma \cdot \beta)$.

За аналогічними формулами визначають питому витрату палива пасажирських автомобілів.

Для автобусів (відрядних) так само, як і для вантажних автомобілів, можна установити основну норму порожнього автобуса і додаткову норму за перевезення пасажирів, л/пас^окм, беручи середню масу пасажирів 75 кг:

$$Q_n = 0.01K_t \cdot K_h \left(\frac{H_0}{q_a \cdot \gamma_{cp} \cdot \beta} + H_\delta \right), \quad (1.15)$$

де H_0 – основна норма для порожнього автобуса, л/100 км; q_a – пасажиромісткість автобуса, пас; γ_{cp} – середній коефіцієнт використання пасажиромісткості автобуса; β – коефіцієнт використання пробігу; H_δ – додаткова норма за перевезення одного пасажирів на відстань 100 км, л/100 пас·км.

Середній коефіцієнт використання пасажиромісткості

$$\gamma_{cp} = \frac{Q_{cp}}{q_a} = \frac{N_n \cdot l_n}{q_n \cdot l_m}, \quad (1.16)$$

де N_n – загальна кількість перевезених автобусом пасажирів на даному маршруті, пас.; l_n – середня довжина поїздки пасажирів, км; l_m – загальна довжина маршруту, км.

Додаткова норма за перевезення одного пасажирів, л/100пас·км: для карбюраторних автобусів $H_\delta = (2 \cdot 75) / 1000 = 0.15$; для дизельних автобусів $H_\delta = (1.3 \cdot 75) / 1000 = 0.10$.

В останніх двох виразах цифри 2 і 1.3 означають додаткову норму за перевезення 1 т вантажу на 100 км (за діючими нормами), 75 – маса одного пасажирів, кг.

Така методика розрахунку питомих норм для автобусів на автотранспортних підприємствах поки не застосовується. У діючих нормах затверджена одна середня норма витрати палива на 100 км пробігу. Але при більш глибокому аналізі витрати палива і з метою удосконалення методики нормування варто розраховувати основну і додаткову норми для автобусів.

Для таксі питома норма витрати палива, л/100пас·км

$$Q_n = 0.01K_t \cdot K_h \frac{H}{q_T \cdot \gamma_T \cdot \beta_T}, \quad (1.17)$$

де H – норма витрати палива, л/100 км; q_T – кількість місць у таксі, γ_T – коефіцієнт наповнення таксі, β_T – коефіцієнт платного пробігу.

Питома витрата палива на один платний кілометр, л/пл·км

$$Q_n = 0.01K_t \cdot K_h \cdot H / \beta_T, \quad (1.18)$$

На АТП питоми норми витрати палива виражаються звичайно в масових одиницях г/т·км, г/пас·км, г/пл·км. Для одержання масових одиниць необхідно питому витрату палива помножити на $1000 \cdot \rho_T$, де ρ_T – щільність палива, т/м³. Наприклад, якщо для карбюраторного автомобіля питома витрата палива, л/(т·км), складає 0.12, то в інших одиницях він дорівнює $1000 \cdot 0.74 \cdot 0.12 \approx 89$ г/(т·км).

Якщо питоми норми розраховуються для усього автопідприємства,

варто брати середньозважені лінійні норми витрати палива з урахуванням планових значень коефіцієнтів використання вантажопідйомності і пробігів. Як видно з приведених раніше формул для розрахунку питомих витрат палива, у першому доданку вантажопідйомність (пасажиромісткість), коефіцієнти використання вантажопідйомності (пасажиромісткості) і пробігу входять у знаменник. При їхньому збільшенні питома витрата палива зменшується за законом гіперболи. Практично вантажопідйомність автомобіля можна підвищити в 2...3 рази, застосовуючи автопоїзди. Варто прагнути до того, щоб коефіцієнт використання вантажопідйомності був більше одиниці, а коефіцієнт використання пробігу – більше 0.5 за рахунок завантаження автомобіля в зворотному напрямку. Практично підвищення даних коефіцієнтів на 1 % знижує питому витрату палива в середньому на 0.6... 0.8 г/(т·км).

При зміні вантажопідйомності вантажних автомобілів від 0.75 до 7.5т питомі норми витрати палива для карбюраторних автомобілів змінюються в межах 95 ... 340 г/(т·км), у дизельних автомобілях при зміні вантажопідйомності від 7 до 12 т – 55...65 г/(т·км).

Нормування витрати палива, г/т·км, має і негативні сторони – сприяє, наприклад, непрямому ростові тоннокілометрів за рахунок необґрунтованого збільшення відстані перевезень або приписок.

Можна також вести нормування витрати палива в грамах на тону перевозеного вантажу (г/т). При цьому транспортна задача повинна формулюватися так: необхідно, щоб обсяг перевезень P_a прагнув до максимуму, а середня відстань перевезень дорівнювала або була менше визначеної величини ($l_{cp} \leq const$). При такій постановці задачі автопідприємства не будуть прагнути до штучного збільшення т·км.

Питома витрата палива в г/т дорівнює питомій витраті в г/(т·км), помноженій на середню відстань перевезень вантажів l_{cp} . За удосконаленою методикою нормування остання формула запишеться так:

$$Q_n = 10 \rho_T \cdot t_{cp} \cdot K_t \cdot K_h \left(\frac{K_1 + K_2 \cdot V_a^3}{q \cdot \gamma \cdot \beta} + K_3 \cdot V_{\max} \right), \text{ г/т.} \quad (1.19)$$

У цій формулі фігурує $t_{cp} = l_{cp} / V_a$. Це середній час доставки вантажу. Його необхідно розраховувати при плануванні автомобільних перевезень і витрати палива. Він також повинен бути рівним або менше визначеної величини ($t_{cp} \leq const$). Скорочувати час доставки вантажу – головна мета будь-якого виду транспорту. Користуючись питомими нормами, можна визначити річну, квартальну і місячну потреби палива для виконання встановленого плану перевезень.

З досвіду роботи різних автотранспортних підприємств випливає, що питома витрата палива на вантажних перевезеннях коливається в межах

70...100 г/(т·км), на пасажирських перевезеннях автобусами – 14...17 г/(пас.·км), на перевезеннях легковими таксі – 110 ... 150 г/(пл.·км). Питома витрата дизельного палива приблизно в 1.5 раза менше. Вона коливається в межах 40...60 г/(т·км) для вантажних автомобілів і 10...12 г/(пас.·км) для автобусів.

У перспективі цілком реально відмовитися від звичних середніх лінійних норм витрати палива, що переглядаються звичайно раз у кілька років. При наявності сучасного діагностичного устаткування можна періодично встановлювати індивідуальні норми для кожного автомобіля з обліком його фактичного технічного стану, кваліфікації водія й умов роботи.

Важливою практичною задачею на автомобільному транспорті є оптимальний вибір швидкості автомобіля, що рухається в різних дорожніх умовах. У цьому випадку необхідно затрачувану потужність двигуна і витрату палива виразити через швидкість руху автомобіля і коефіцієнт опору коченню. Потім шукається такий режим руху автомобіля і закон зміни швидкості автомобіля або потужності двигуна, що забезпечував би мінімум витрати палива на даному маршруті довжиною l_m за час t_p .

Розглянемо приклад керування рухом автомобіля за мінімумом витрати палива. Витрату палива, л, на маршруті довжиною l_m за час t_p

визначимо за допомогою інтеграла $Q = \int_0^T Q_1 \cdot dt$, де Q_1 – витрата палива,

л/год. Введемо в приведені вище рівняння витрати палива додатковий доданок сили, затрачуваної на розгін автомобіля $G_a \cdot \dot{V}_a / g$, і коефіцієнт сумарного опору рухові ψ , що враховує додатковий опір на дорогах з різним ступенем рівності

$$\psi = f_0 + \Delta_1 \cdot S^2 \cdot V_a / G_a + \Delta_2 \cdot S / G_a \pm i, \quad (1.20)$$

де f_0 – коефіцієнт опору коченню на рівній дорозі; S – ступінь рівності покриття за поштовхоміром, см/км; Δ_1 і Δ_2 – постійні коефіцієнти для підвіски даного автомобіля.

З урахуванням цих доповнень рівняння витрати палива, л/100 км, у загальному вигляді запишеться

$$Q = \frac{1}{\eta_i} \left\{ A \cdot i_k + B \cdot i_k^2 \cdot V_a + C \left[f_0 + \Delta_1 \cdot S^2 \cdot V_a / G_a + \Delta_2 \cdot S / G_a \pm i \right] + 0.077 \cdot kF \cdot V_a^2 + G_a \cdot \dot{V}_a / g \right\} \rightarrow \quad (1.21)$$

Годинна витрата палива $Q_i = 0.01Q \cdot V_a$. У рівняння (9.21) входить індикаторний ККД, що змінюється в залежності від швидкості автомобіля. З метою спрощення розв'язування задачі приймаємо, що $\eta_i \approx const$. Увівши постійні коефіцієнти $K_1 \dots K_4$ і виразивши швидкість V_a через \dot{l} , в

остаточному вигляді одержимо таке рівняння:

$$Q = K_1 \int_0^T (\dot{l} + K_2 \cdot \dot{l} + K_3 \cdot \dot{l}^2 + K_4 \cdot \dot{l}^3) dt, \quad (1.22)$$

$$\text{де } K_1 = \frac{0.01C \cdot G_a}{g \cdot \eta_i},$$

$$K_2 = \frac{g}{C \cdot G_a} (A \cdot i_k + C \cdot G_a \cdot f_0 + C \cdot \Delta_2 \cdot S \pm C \cdot G_a \cdot i),$$

$$K_3 = \frac{g}{C \cdot G_a} (B \cdot i_k^2 + C \cdot \Delta_1 \cdot S^2), \quad K_4 = \frac{0.077 g \cdot kF}{G_a}.$$

Коефіцієнти K_2 , K_3 у загальному випадку не можна вважати постійними величинами. Їх варто розглядати як функцію шляху l . Отримане рівняння є математичною моделлю оптимального керування швидкістю автомобіля.

Оптимальний закон руху автомобіля визначиться, якщо буде знайдена функція $l(\tau)$, що доставляє мінімум функціоналові:

$$I = \int_0^T (\dot{l} + K_2 \cdot \dot{l} + K_3 \cdot \dot{l}^2 + K_4 \cdot \dot{l}^3) dt, \quad (1.23)$$

Обчислимо рівняння Ейлера-Пуасона для останнього функціонала при

$$F = \dot{l} \cdot \dot{l} + K_2 \cdot \dot{l} + K_3 \cdot \dot{l}^2 + K_4 \cdot \dot{l}^3. \quad (1.24)$$

З останнього виразу випливає, що $F_l = 0$; $F_{\dot{l}} = \dot{l} + K_2 + 2K_3 \cdot \dot{l} + 3K_4 \cdot \dot{l}^2$;

$\frac{dF_{\dot{l}}}{dt} = \ddot{l} + 2K_3 \cdot \ddot{l} + 6K_4 \cdot \ddot{l} \cdot \dot{l}$; $F_{\ddot{l}} = \dot{l}$; $\frac{dF_{\ddot{l}}}{dt} = \ddot{l}$. Сума доданків, що входять у

рівняння Ейлера-Пуасона, дорівнює: $0 - \ddot{l} - 2K_3 \cdot \ddot{l} - 6K_4 \cdot \ddot{l} \cdot \dot{l} + \dot{l} = 0$. Звідси

$\dot{l} \cdot (K_3 + 6K_4 \cdot \dot{l}) = 0$. Останнє рівняння розпадається на два: $\dot{l} = 0$ і

$(K_3 + 3K_4 \cdot \dot{l}) = 0$. З першого рівняння випливає, що $\dot{l} = \text{const}$, тобто

швидкість повинна бути постійною величиною. Екстремальним режимом є рух автомобіля з постійною швидкістю. Цей висновок справедливий для будь-яких значень сили опору $K_2(\tau)$ – функції від поточного значення шляху (на підйомі, на спуску, на нерівній дорозі). Якщо $K_2(\tau)$ не є постійною величиною, то сталість швидкості руху автомобіля можна забезпечити, регулюючи потужність двигуна.

Проведені в ХНАДУ експерименти підтверджують теоретичний висновок, що найекономічнішим за витратою палива є режим руху автомобіля з постійною швидкістю. При всяких інших режимах руху при витримуванні однієї і тієї ж середньої швидкості витрата палива збільшується. Середній ефект оптимізації швидкісного режиму автомобіля коливається в межах 7...8 %. Ефективність оптимізації зростає зі

збільшенням навантаження і погіршенням дорожніх умов.

На рис. 9.1 показані можливі режими руху при обмеженні за потужністю. Якщо опір дороги постійний, то швидкість на всьому маршруті буде також постійна (рис. 9.1 а). Якщо на інтервалі $t_1 - t_2$ внаслідок збільшеного опору рухові відбудеться зниження швидкості, то з метою скорочення попереднього значення інтервала треба збільшити швидкість на інших ділянках маршруту. Доцільно, наприклад, перед крутим підйомом завчасно збільшувати швидкість руху.

При розрахунку оптимального швидкісного режиму на даній дорозі її необхідно розбити на окремі ділянки і для кожної з них визначити оптимальну швидкість. Оптимальне керування може здійснюватися водієм при наявності режимних карт (для постійних маршрутів), активних дорожніх знаків, зумерів для сигналізації про перевищення установленної швидкості і т.д.

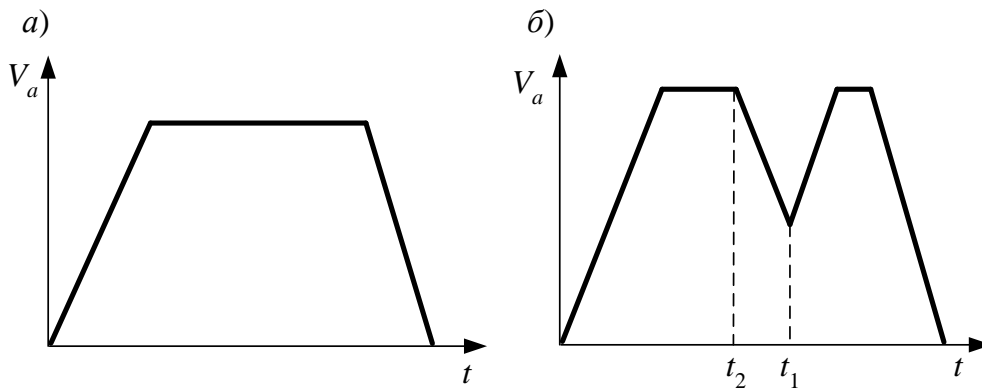


Рисунок 1.1 – Режими руху автомобіля

Автоматична реалізація режимів оптимального керування здійснюється всережимними або екстремальними регуляторами, що керують подачею палива в залежності від навантаження і дорожніх умов. У США випускаються автомобілі з аналогічними пристроями. При малій інтенсивності руху автомобілів на дорозі (менш 300 авт./ч) алгоритми керування рухом застосовні для одиночних автомобілів. При більш високій інтенсивності керування повинне здійснюватися всім потоком за допомогою автоматизованих систем.

Для того, щоб визначити конкретну швидкість руху, при якій витрата палива буде мати мінімальну величину, необхідно рівняння витрати палива в загальному вигляді продиференціювати за V_a і прирівняти до нуля.

Рівняння витрати палива на основі (9.1) у загальному вигляді записується в такий спосіб:

$$Q = \frac{1}{\eta_i} \left(\frac{D}{V_a} + E \cdot V_a^2 \right) \text{ л/100 км,} \quad (1.25)$$

де $D = K_c \cdot V_{\max} \cdot A + K_c^2 \cdot V_{\max}^2 \cdot B + 0.01 V_{\max} \cdot C \cdot G_a$; $E = 0.077 C \cdot kF$.

Якщо продиференціювати витрату палива за V_a і прирівняти її до нуля, одержимо $Q = \frac{1}{\eta_i} \left(-\frac{D}{V_a^2} + 2E \cdot V_a \right) = 0$. Звідси $V_a = \sqrt[3]{\frac{0.5D}{E}}$.

Для автомобіля ЗІЛ-431410 коефіцієнти A, B, C відповідно рівні 0.85, 0.026 і 0.0035. Приймаємо, що $V_{\max} = 90$ км/год, фактор обтічності $kF = 2.41 \text{ Н} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-2}$, швидкісний коефіцієнт $K_c = 0.6$ і вага автомобіля $G_a = 80000 \text{ Н}$. Підставивши ці значення у вирази для D й E , одержимо $D = 373.7$ і $E = 6.49 \cdot 10^{-4}$. Швидкість, що відповідає мінімальній витраті палива, $V_a = \sqrt[3]{\frac{373.7 \cdot 10^4}{12.98}} = \sqrt[3]{28.8 \cdot 10^4} \approx 66$ км/год.

Порядок виконання роботи

1. Вивчити:

- а) методику нормування витрати палива;
- б) методику формування моделей нормування витрати палива конкретної моделі автомобіля з урахуванням впливу умов експлуатації;
- в) методику розрахунку питомих витрат палива для різних типів транспортних машин та підприємства в цілому.
- г) методику визначення витрати палива на маршруті;
- д) методику оптимізації режимів руху транспортних машин з урахуванням умов експлуатації.

2. Записати :

- а) вихідні дані;
- б) побудову математичної моделі швидкості руху заданої марки транспортної машини з урахуванням впливу умов експлуатації та визначення її оптимальної величини за критерієм мінімуму витрати палива;
- в) аналіз виконаних розрахунків та висновки.

Контрольні запитання

1. Види норм витрати палива і змащувальних матеріалів.
2. Як врахувати атмосферно-кліматичні і дорожні умови при встановленні норм витрати палива.
3. Як нормується витрата палива індивідуально для кожного автомобіля з врахуванням фактичних середніх швидкостей.
4. Як визначити основну і додаткову норми для кожної групи умов експлуатації.

5. Які параметри впливають на величину питомих норм витрати палива, з якою метою їх обчислюють на АТП?
6. Основні принципи вибору оптимальної швидкості автомобіля в різних дорожніх умовах за мінімумом витрати палива.
7. Способи автоматичної реалізації режимів оптимального керування.
8. Алгоритм пошуку оптимальної швидкості за критерієм мінімуму витрати палива для заданої марки транспортної машини з урахуванням впливу умов експлуатації.

Лабораторна робота №2

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВТОМОБІЛЯ НА ОСНОВІ МОДЕЛЮВАННЯ ВЕЛИЧИНИ РЕСУРСУ ДВИГУНА

Мета роботи: побудувати математичну модель визначення ресурсу основного вузла заданого автомобіля і знайти оптимальні режими експлуатації цього автомобіля за критерієм максимуму ресурсу.

Теоретичні відомості

Найбільший вплив на довговічність машин мають дорожні і транспортні умови. Ці умови визначають режим роботи агрегатів автомобіля (діапазон навантажень і швидкостей, крутний момент, частоту обертання колінчастого вала, передаточні числа головної передачі та коробки передач, динамічні навантаження від нерівностей доріг і т.д.), від яких залежить зношування і працездатність окремих елементів автомобіля.

Знос двигуна при постійних частотах збільшується пропорційно середньому ефективному тиску. У випадку постійного навантаження – за ступеневою залежністю від частоти обертання колінчастого вала.

Знаючи знос двигуна γ в мг/хв, в залежності від середнього ефективного тиску P_e і частоти обертання колінчастого вала n , можна отримати аналітичний вираз зносу в мг/хв. та мг/км. Якщо сумарний знос двигуна розділити на знос в мг/км, отримуємо строк служби двигуна до капітального ремонту $L_{кр}$. В кінцевому вигляді вираз для визначення пробігу двигуна запишеться таким чином:

$$L_{кр} = \frac{0.0087 \cdot S_n \cdot D_{ц} \cdot \rho_m \cdot X_{ц} \cdot \delta_{max} \cdot V_a}{0.5 \cdot 10^{-4} \frac{i_0 \cdot i_k \cdot V_a}{r_k} - 2.53 \cdot 10^{-7} \left(\frac{i_0 \cdot i_k \cdot V_a}{r_k} \right)^2 + 5.21 \cdot 10^{-10} \left(\frac{i_0 \cdot i_k \cdot V_a}{r_k} \right)^3 + \dots} \dots \rightarrow \dots \rightarrow \left[+ 6.5 \cdot 10^{-3} \frac{r_k}{V_h \cdot i_0 \cdot i_k \cdot \eta_{mp}} \left(G_a \cdot \psi + 0.077 kF \cdot V_a^2 \right) \right] км, \quad (2.1)$$

де S_n , $D_{ц}$ – хід поршня і діаметр циліндра;

ρ_m – густина металу, мг/мм³;

$X_{ц}$ – кількість циліндрів двигуна;

δ_{max} – максимальне зношення циліндрів двигуна (0.33 ... 0.35 мм);

r_k – радіус кочення колеса, м;

V_h – робочий об’єм циліндрів двигуна, л;
 η_{mp} – ККД трансмісії автомобіля;
 i_0 – передаточне число головної передачі;
 G_a – вага автомобіля, Н.

На рис. 2.1 показані криві зміни терміну служби двигуна ЗІЛ-431410, побудовані за допомогою останнього виразу.

Найбільший термін служби двигуна ЗІЛ-431410 до капітального ремонту спостерігається при русі на прямій передачі зі швидкістю 50...60 км/год. Зі зменшенням середнього ефективного тиску (навантаження) термін служби двигуна збільшується.

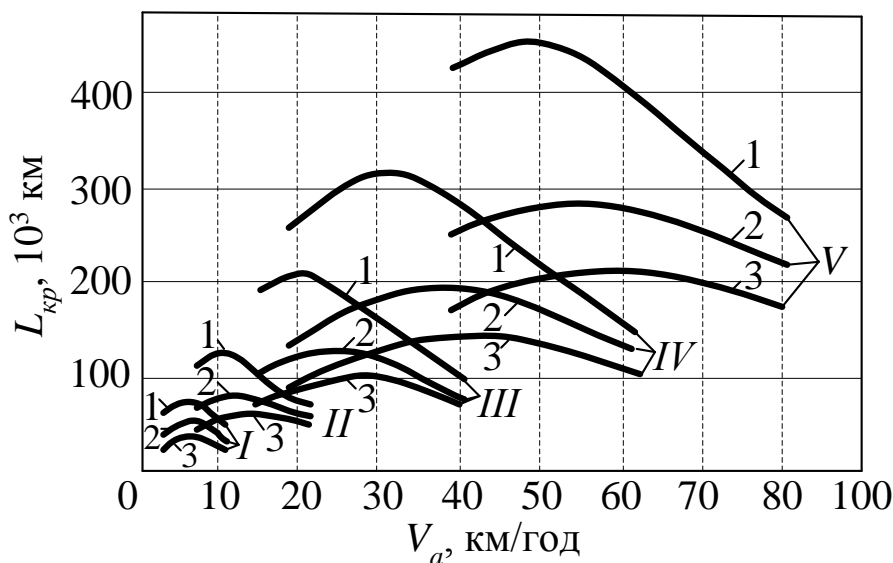


Рисунок 2.1 – Термін служби двигуна ЗІЛ-431410 в залежності від швидкості, передач (I, II, III, IV) і навантаження (1 - 200, 2 - 400, 3 - 600 кПа)

Якщо для ЗІЛ-431410 середнє передаточне число коробки передач i_k та середній сумарний опір ψ виразити через середню технічну швидкість і підставити в формулу (2.1), одержимо такий спрощений вираз

$$L_{кр} = \frac{1756 \cdot V_a}{(0,081 + 0,149 \cdot 10^{-5} G_a + 0,59 \cdot 10^{-6} V_a^3)}, \text{ км.} \quad (2.2)$$

На рис. 2.2 приведений графік, побудований за допомогою останньої формули для навантаженого (10,5 т) і порожнього (4,5 т) автомобілів.

З графіка видно, що максимальний пробіг для навантаженого (1) автомобіля спостерігається при 60 км/год, а для порожнього (2) при 50 км/год. При русі з більш високими середніми технічними швидкостями пробіг автомобіля до капремонту буде знижуватися. При середніх навантаженнях і при експлуатації автомобіля в гарних дорожніх умовах

($V_{cp} \approx 50 \dots 60$ км/год) пробіг автомобіля до капремонту складе приблизно 350 тис км.

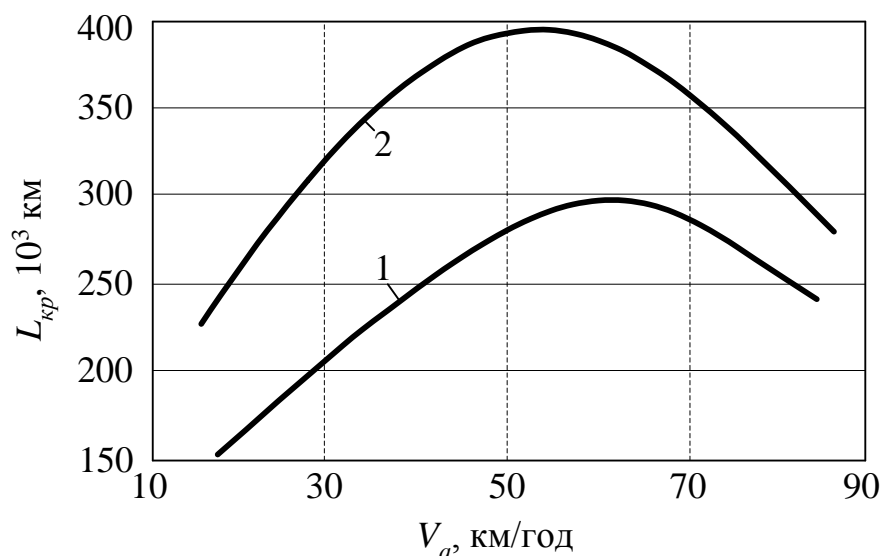


Рисунок 2.2 – Пробіг автомобіля ЗІЛ-431410 при різних середніх технічних швидкостях

Порядок виконання роботи

1. Вивчити:

- а) методику визначення ресурсу основного вузла транспортних машин;
- б) методику оптимізації режимів руху транспортних машин з врахуванням умов експлуатації за критерієм максимуму ресурсу.

2. Записати :

- а) вихідні дані;
- б) побудову математичної моделі визначення ресурсу основного вузла заданої транспортної машини з урахуванням впливу умов експлуатації та графічне визначення оптимальних режимів експлуатації цієї машини за критерієм максимуму ресурсу;
- в) аналіз виконаних розрахунків та висновки.

Контрольні запитання

1. Основні фактори, що впливають на ресурс транспортних машин.
2. Принципи вибору оптимальної швидкості транспортних машин в різних дорожніх умовах за максимумом ресурсу основного вузла.
3. Алгоритм пошуку оптимальної швидкості за критерієм максимуму ресурсу основного вузла для заданої марки транспортної машини з урахуванням впливу умов експлуатації.