

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний автомобільно-дорожній університет
(ХНАДУ)

Факультет транспортних систем

Кафедра технічної експлуатації та сервісу автомобілів

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ
з дисципліни

ОСНОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Для студентів факультету транспортних систем
ІІІ семестр

Версія 2010.09

Укладач доц. Рабінович Е.Х.

Харків – 2010

ЛЕКЦІЯ № 1 (ВСТУПНА). РОЛЬ І ПРИЗНАЧЕННЯ ТРАНСПОРТУ. КЛАСИФІКАЦІЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Транспорт – це галузь економіки, яка здійснює перевезення людей і вантажів. Транспорт не створює жодних матеріальних цінностей, а лише переміщає з місця на місце, збільшуючи їхню собівартість. І все-таки він необхідний: для створення якогось товару потрібно добути сировину (розробити руди, вугілля, нафту, камінь, або виростити й зібрати продукти живої природи), переробити його, довівши до технологічно зручного стану (виплавити чавун і сталь, одержати з нафти бензин, змолоти зерно, переробити продукцію тваринництва), виготовити вироби або продукти. На всіх стадіях потрібна людська праця. Укראй складно сполучити всі етапи видобутку й переробки – від природної сировини до кінцевого продукту – в одній географічній точці. Але коли таке трапляється, дуже гостро встають екологічні й медичні проблеми: сучасний рівень розвитку технології вкрай низький, технологічні процеси супроводжуються викидами великої кількості тепла, пари, диму, шкідливих речовин, вібраціями, шумом. Доводиться видаляти райони мешкання людей від виробничих зон. Якщо до того ж урахувати історично сформований характер розселення людей і розміщення промисловості, то стане очевидною необхідність численних транспортних операцій: сировинні матеріали потрібно доставляти до місць переробки, конструкційні матеріали – до машинобудівних заводів, продукцію одних заводів на інші заводи, де вона використовується як комплектуючі вироби, нарешті, готовий продукт або товар потрібно доставити до споживача. Є види діяльності людей, пов'язані із сезонними роботами (наприклад, у сільському господарстві) або тимчасовими роботами (наприклад, у промисловому, цивільному й, особливо, дорожньому будівництві). У цих випадках потрібні перевезення обладнання й людей на нове місце робіт. Нарешті, регулярно доводиться доставляти людей від місць мешкання до місць роботи та назад, а також перевозити їх з місця на місце по особистих справах. У світлі сказаного можна так сформулювати основну мету транспорту: задоволення потреб суспільства й окремих людей у перевезеннях вантажів і пасажирів.

Види транспорту. Історично першими видами транспорту були водний і гужовий. Майже всі види транспорту з'являлися в першу чергу, як засіб перевезення людей, а потім уже – вантажів. На наші часи склалися наступні основні види транспорту: 1) водний (морський і річковий); 2) повітряний; 3) трубопровідний; 4) наземний (рейковий і безрейковий – колісний і гусеничний).

Безрейковий транспорт, що використовує колісні транспортні засоби, називається автомобільним транспортом. З'явився він досить пізно, близько 100 років тому, але до теперішнього часу встиг за обсягом перевезень вийти на перше місце. Головні тому причини – можливість доставки "від дверей до дверей" без перевантажень, швидкість доставки, велика гнучкість, незалежність. Ці достоїнства такі важливі, що перекривають великий недолік автотранспорту – високу собівартість перевезень. Вона викликана порівняно не-

великою вантажопідйомністю (пасажировмісністю) транспортних засобів і, внаслідок цього, високою необхідною потужністю машини на один перевезений об'єкт (табл. 1). Через це – високі витрати палива і викид шкідливих речовин.

Таблиця 1

**Орієнтовне зіставлення транспортних засобів (ТЗ)
різних видів транспорту за основними показниками**

Вид ТЗ	Повна маса ТЗ, т	Частка маси вантажів в повній масі ТЗ	Середня технічна швидкість, км/год	Потуж- ність двигуна, кВт	Трансп. робота, т·км/год на 1 кВт
Вантажний автомобіль	6	0,5	50	90	1,7
Те ж, із причепом	12	0,6	40	90	3,2
Вантажний потяг	3000	0,7	60	3000	42
Морське судно	20000	0,6	20	5000	48
Річкова самох. баржа	5000	0,7	16	800	70
Літак	12	0,3	600	2000	1,0

Одне з достоїнств автотранспорту – можливість швидкої подачі ДТС до замовника – обертається серйозними економічними недоліками: низьким коефіцієнтом використання вантажопідйомності (у середньому 0,7...0,8) і низьким коефіцієнтом використання пробігу (у середньому 0,5...0,6). Нарешті, залишає бажати кращого безпеку руху та екологічна безпека.

Основні складові наземних видів транспорту – це рухомий склад і шляхи, по яких він пересувається (рейкові шляхи для залізничного транспорту, дороги для автотранспорту). Рухомий склад класифікують по-різному. Виділимо класифікацію, прийняту в стандартах по безпеці руху (табл. 2).

Основні терміни. Використання транспортних засобів за призначенням називається експлуатація. Комерційна експлуатація – це використання машини з метою одержання найбільшого ефекту.

Слово **ефект** (тобто результат) можна розуміти по-різному. Для людства в цілому – це переміщення без утрат необхідної кількості людей і вантажів з найменшими витратами часу, сил і засобів при забезпеченні безпеки перевезень і мінімуму шкідливих наслідків. Для користувача ТЗ – це переміщення без утрат потрібної кількості людей і вантажів у потрібне місце до потрібного часу за найменшу плату. А для власника ТЗ – це одержання найбільшого прибутку, тобто різниці між одержуваною платою за виконану транспортну роботу й понесеними витратами на виконання цієї роботи. Тут зіштовхуються суперечливі інтереси сторін, і протиріччя ці можуть бути лише частково зняті регулюванням з боку суспільства або його виконавчого органа – держави.

Категорії дорожніх транспортних засобів (ДТЗ)

Категорія	Тип ДТЗ	Повна маса
M ₁	Призначені для перевезення пасажирів ДТЗ із двигуном, які мають не більше 8 місць для сидіння, крім місця водія, або створені на їхній базі модифікації для перевезення дрібних вантажів	–
M ₂	Те ж, із числом пасажирських місць > 8	до 5 т включно
M ₃	Те ж	понад 5 т
N ₁	ДТЗ із двигуном, призначені для перевезення вантажів	до 3,5 т включно
N ₂	Те ж	понад 3,5 до 12 т
N ₃	Те ж	понад 12 т
O ₁	Одноосьові причепа	до 0,75 т вкл.
O ₂	Причепа й напівпричепа, за викл. O ₁	до 3,5 т включно
O ₃	Причепа й напівпричепа	понад 3,5 до 10 т включно
O ₄	Причепа й напівпричепа	понад 10 т.

Щоб одержувати найбільший можливий дохід, треба чітко розуміти можливості ТЗ, їхній зв'язок з умовами роботи і, на підставі цього, правильно розраховувати й планувати, з одного боку, транспортну роботу ТЗ і принесені ними доходи, з іншого боку – витрати на цю роботу (її собівартість). Особливо важливо хоча б приблизно оцінити всі ці показники на ранній стадії, при укладанні договору на перевезення. Саме цьому буде присвячена основна увага в нашому курсі. Крім того, з постійним зростанням екологічних вимог нам доведеться усе серйозніше ставитися до шкідливих викидів автомобільного транспорту, а тому, у першу чергу, навчитися їх розраховувати.

Технічна експлуатація – система дій, спрямованих на підтримку працездатного стану ТЗ у процесі його функціонування, тобто збереження в припустимих межах його функціональних характеристик (місткості, вантажопідйомності, швидкості, комфортності), забезпечення безпеки руху й екологічної безпеки при гарних економічних характеристиках.

Комерційна й технічна експлуатація невіддільні друг від друга, оскільки не можна використовувати ТЗ, не підтримуючи на потрібному рівні їхній технічний стан. І все-таки перша роль належить комерційній експлуатації, бо якщо автомобілі не приносять доходу, нема сенсу їх мати й тримати в працездатному стані.

Показники роботи ТЗ. Виконана автомобілем за одну їздку транспортна робота (його виробіток) у тонно-кілометрах (т·км) або пасажиро-кілометрах (пас·км)

$$W = Q_{\phi} l_{\Sigma}; \quad W = \Pi_{\phi} l_n,$$

де Q_{ϕ} – фактично перевезена кількість вантажу, т; l_{Σ} – відстань перевезення вантажу (довжина навантаженої їздки), км; Π_{ϕ} – фактично перевезена кількість пасажирів; l_n – відстань перевезення пасажирів, км.

Транспортна робота за якийсь період, наприклад, за зміну, коли автомобіль зробив n їздок,

$$W = \sum_{i=1}^n Q_{\phi i} l_{\Sigma i}; \quad W = \sum_{i=1}^n \Pi_{\phi i} l_{ni},$$

де i – номер їздки з вантажем (пасажирами).

Фактична кількість вантажу може не збігатися з номінальною вантажопідйомністю АТЗ. Наприклад, номінальна вантажопідйомність автомобіля $q = 6$ т, а він возить плити по 5 т кожна. Це враховують за допомогою коефіцієнта використання вантажопідйомності

$$\gamma = \frac{Q_{\phi}}{q}.$$

Те ж стосується автобусів: у різний час дня фактично перевезена кількість пасажирів Π буде різною. Коефіцієнт використання пасажировмістності автобусів (коефіцієнт наповнення):

$$\gamma = \frac{\Pi}{M}.$$

де M – номінальна пасажировмістність автобуса (число місць відповідно до технічної характеристики).

Далеко не весь пробіг автомобіля використовується для виконання транспортної роботи. Загальний пробіг

$$L_{\text{заг}} = L_{\text{пр}} + L_{\text{нпр}},$$

де $L_{\text{пр}}$ – продуктивний пробіг (з вантажем або пасажирами); $L_{\text{нпр}}$ – непродуктивний пробіг: холостий пробіг без вантажу (пасажирів) від місця вивантаження до місця навантаження й нульовий пробіг (подача ТЗ від місця стоянки під перше навантаження або посадку пасажирів, повернення після роботи на стоянку, заїзди на ТО, ремонт, заправлення й т.п.).

Співвідношення продуктивного й загального пробігу оцінюється коефіцієнтами використання пробігу (для вантажних автомобілів), корисного пробігу (для автобусів) і платного пробігу (для таксі):

$$\beta = \frac{L_{\text{пр}}}{L_{\text{заг}}}.$$

Добуток $q \beta \gamma$ дорівнює середньому завантаженню автомобіля. Завдання служби комерційної експлуатації – знайти таких клієнтів і так організувати перевезення, щоб домогтися як можна більших коефіцієнтів β і γ .

Пробіг АТЗ у кілометрах

$$L = v \cdot T_{\text{дв}},$$

де v – швидкість АТЗ, км/год; $T_{\text{дв}}$ – час руху, год.

Реальна швидкість АТЗ буде помітно менше зазначеної в його технічній характеристиці максимальної швидкості – по-перше, не всяка дорога дозволяє рухатися з максимальною швидкістю – або через її особливості (звивиста або пряма [накреслення дороги в плані], горизонтальна або з підйомами й спусками [поздовжній профіль], з гарним або поганим покриттям, без перехресть або з перехрестями й світлофорами), або через велику інтенсивність руху (коли багато транспорту на дорозі, обгони утруднені, а швидкість руху в загальній колоні визначається тихохідними машинами); по-друге, щоб набрати максимальну швидкість від нуля, потрібен якийсь час на розгін, а перед зупинкою – на гальмування. Чим частіші зупинки й чим коротші прольоти між ними, тим сильніше це буде позначатися на реальній середній швидкості руху. Тому доводиться використовувати інші значення швидкості.

Технічна швидкість

$$V_m = \frac{L_{\text{заг}}}{T_{\text{дв}}}.$$

Експлуатаційна швидкість

$$V_{\text{э}} = \frac{L_{\text{заг}}}{T_n} = \frac{L_{\text{заг}}}{T_{\text{дв}} + T_{\text{пр}}},$$

де T_n – час у виряді, тобто розрахунковий час роботи в годинах (год); $T_{\text{пр}}$ – час простоїв ТЗ для навантаження й вивантаження вантажів, посадки й висаджування пасажирів, з технічних причин тощо (год).

Організаційними мірами можна скоротити час простоїв і цим підвищити експлуатаційну швидкість. Але технічна швидкість частіше визначається зовнішніми, від нас не залежними умовами. У гарних умовах можна вважати:

для одиночних вантажних автомобілів і автобусів	$V_T = 0,7 V_{\text{MAX}}$;
для автопоїздів	$V_T = 0,65 V_{\text{MAX}}$;
для легкових автомобілів	$V_T = 0,60 V_{\text{MAX}}$.

ЛЕКЦІЯ № 2 ХАРАКТЕРИСТИКА ВЗАЄМОДІЇ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ З РІЗНИМИ ПОВЕРХНЯМИ Й ПРОФІЛЯМИ ДОРІГ

Тяговий баланс. Можливості автомобіля по виконанню транспортної роботи визначаються, з одного боку, його потужністю, з іншого боку – опорами руху, які поглинають частину цієї потужності. Потужність автомобіля N у ватах – це добуток тягової сили P_T у ньютонках на швидкість v у м/с: $N = P_T v$. Для наших розрахунків це найзручніша формула.

Автомобіль змушує рухатися поздовжня реакція дороги, що діє на ведучі колеса. Якщо колесо не пробуксовує, тобто не прослизає відносно дороги, реакція дороги й дотична сила рівні одна одній за модулем, хоча спрямовані в різні сторони.

Звичайно цю поздовжню реакцію називають "тягова сила". Вона виникає під дією ефективного крутного моменту M_e на колінчатому валу двигуна, перетвореного трансмісією автомобіля (рис. 1). Зчеплення передає цей момент на вхідний вал коробки передач; на вихідному валу коробки передач момент залишається таким же або перетворюється (збільшується або зменшується) залежно від того, яке передаточне число включеної передачі. Далі через карданний вал момент надходить на вхідний вал головної передачі, яка його збільшує й передає через півосі на ведучі колеса.

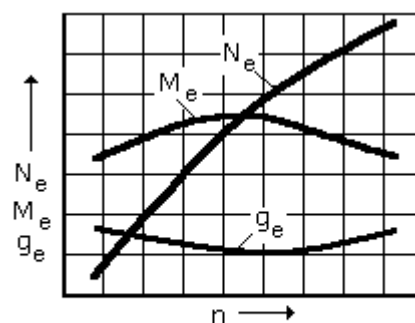
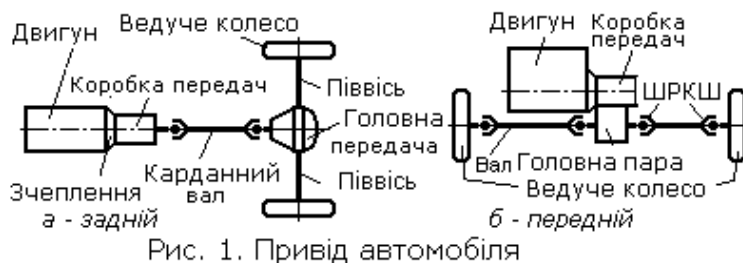


Рис. 2. Зовнішня швидкісна характеристика двигуна

Тягова сила в ньютонках (при даній частоті обертання колінчатого вала n у xv^{-1} , тобто кількості обертів у хвилину)

$$P_m = \frac{M_e \cdot i_k \cdot i_0 \cdot \eta_{mp}}{r_k},$$

де M_e – ефективний крутний момент двигуна, Н·м (визначається по зовнішній швидкісній характеристиці двигуна, рис. 2); i_k , i_0 – передаточні числа коробки передач і головної передачі; η_{mp} – ККД трансмісії; r_k – динамічний радіус колеса (або ж радіус кочення без проковзування), м.

Тягова сила витрачається на подолання сили сумарного дорожнього опору P_{ψ} , сили опору повітря P_w , сили опору руху на ухил P_i й сили інерції P_j .

$$P_m = P_\psi + P_w \pm P_i \pm P_j, \quad P_j = m \cdot a,$$

де m – маса автомобіля, кг; a – прискорення автомобіля, м/с².

Постійно діють перші дві складові. Ухили (підйоми й спуски) є не скрізь. Сила інерції P_j з'являється при розгоні й уповільненні автомобіля (хоча в міських умовах – це переважна частина часу руху). Прийомистість, маневреність і можливість розвивати високу технічну швидкість визначаються запасом тягової сили, тобто різницею $P_m - P_\psi - P_w$, яку можна використати для розгону автомобіля.

Сила опору повітря в ньютонках

$$P_w = kF \cdot v^2 / 3,6^2,$$

де kF – фактор обтічності; v – швидкість, км/год; F – лобова площа автомобіля, м²; k – коефіцієнт обтічності:

$$k = 0,5 \cdot C_x \cdot \rho_n,$$

де C_x – коефіцієнт аеродинамічного опору, ρ_n – густина повітря, кг/м³.

У нормальних умовах ($T_0 = 293$ К, $P_0 = 101325$ Па) $\rho_n = 1,204$ кг/м³.

При тиску P (у Па) і температурі T (у °С) густину можна обчислити по формулі Клапейрона-Менделєєва

$$\rho_n = \frac{P}{287,14 \cdot (273,15 + T)},$$

де 287,14 – газова постійна для повітря.

Опір повітря помітно проявляється на високих швидкостях, а при малих і середніх швидкостях він невеликий. Тому основна частина постійних опорів – це сумарні дорожні опори

$$P_\psi = G_a \cdot \psi,$$

де ψ – коефіцієнт сумарних дорожніх опорів.

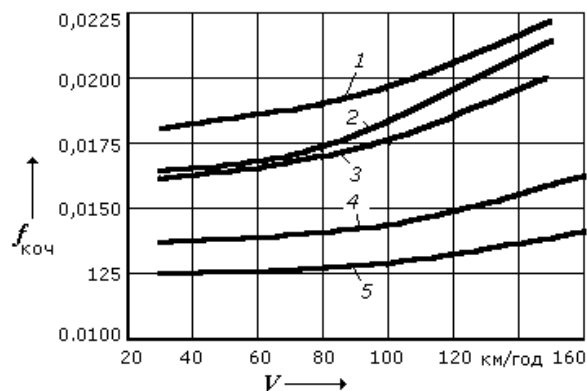
Таблиця 3

Орієнтовні значення фактора обтічності kF деяких автомобілів

	ВАЗ-2107	ВАЗ-21099	ВАЗ-2110	ГАЗ-31029	ГАЗ-3110	ГАЗ-2705, 3221
kF	0,628	0,521	0,409	0,59	0,640	0,926
	ЛиАЗ-677	ГАЗ-3307	ЗиЛ- 431410	МАЗ-5335	КамАЗ- 5320	КрАЗ-5444
kF	2,99	2,31	2,41	2,50	2,88	3,00

На гладкій твердій поверхні дорожні опори зводяться до опору коченню. Його вимірюють на стенді з біговими барабанами великого діаметра. Опір створюється внутрішнім тертям у шині. Коли частина шини входить у контакт із дорогою, вона стискується, поглинаючи енергію, а потім, виходячи з контакту, розправляється, повертаючи енергію. Оскільки шина не є ідеально пружним тілом, віддається енергії менше, ніж було витрачено на деформацію. Ця різниця й створює опір коченню. Його значення визначається конструкцією шини й тиском повітря в ній. В опір коченню вносять свій внесок перекачування повітря по шині, тертя прослизання в контактні шини з дорогою й тертя в підшипниках маточини колеса. Звичайно приймають, що в реальному діапазоні швидкостей руху сучасних автомобілів опір коченню не залежить від швидкості. Фактично це не так: з ростом швидкості опір коченню трохи зростає (рис. 3).

Усе сказане стосувалося руху по гладкій дорозі. Однак навіть на добрій асфальтобетонній або цементобетонній дорозі є нерівності. Вони можуть бути плавними або східчастими. У першому наближенні реальну дорогу можна представити синусоїдою з різною частотою й амплітудою нерівностей. Коли частота нерівностей мала (тобто довжина хвилі велика), весь автомобіль рухається, піднімаючись і опускаючись. При меншій довжині хвилі автомобіль, через свою інерцію, не встигає відстежити мікропрофіль дороги й рухається майже горизонтально. А от колеса змушені рухатися по цих нерівностях, міняючи своє положення відносно кузова автомобіля. При цьому виникає ряд додаткових опорів. Насамперед, це опір, викликаний подовженням шляху колеса в порівнянні зі шляхом автомобіля: колесо їде по синусоїді, а автомобіль переміщується паралельно її хорді. Додатковий шлях колеса збільшує витрати енергії на кочення. Далі, піднімаючись на нерівність, колесо переборює опір руху на підйом і зазнає додаткових радіальних деформацій, а це збільшує втрати енергії в шині. При цьому відбувається додаткова деформація пружного елемента підвіски – пружини або ресори. Виникають додаткові втрати на внутрішнє тертя в пружному елементі. Якщо це багатолістова ресора, кінців листів ковзають один по одному, що викликає втрати на сухе тертя в точках ковзання. Нарешті, при деформації пружного елемента вступає в роботу амортизатор. Функція амортизатора полягає в тому, щоб гасити коливання. Робить він це, перетворюючи в тепло кінетичну енергію рідини, що перетікає з однієї порожнини амортизатора в іншу через калібровані отвори або отвори, перекриті клапанами. Все це створює втрати енергії, тобто породжує додатковий опір руху автомобіля. Коли швидкість мала, колесо встигає піднімати й опускати підресорену масу. Чим більше швидкість, тим



1, 2, 3 – діагональні; 4, 5 – радіальні
 1 – $H/B=0,95$; 2 – $H/B=0,88$; 3 – $H/B=0,82$;
 4 – з текстильним кордом; 5 – зі сталевим кордом

Рис. 3. Опір коченню шин різних типів

сильніше позначається інерція підресореної маси, тим більшими виявляються переміщення коліс щодо кузова, тим більше додаткові опори.

Мікронерівності дороги, що визначають її шорсткість, також впливають на опір коченню, оскільки в контактi шини з дорогою є зони прослизання. У цих зонах шашки протектора ковзають по дорозі, відбувається сухе тертя, що викликає втрати енергії. З першого погляду здається, що чим більше шорсткість, тим вище коефіцієнт зчеплення, тим менше зони ковзання. Насправді це не так. Зчеплення шини із чистою сухою дорогою створюється за рахунок адгезії, тобто сил молекулярної взаємодії. Чим більше площа контакту, тим більше ці сили, тим вище зчеплення. На шорсткуватій дорозі площа контакту зменшується.

Ці питання докладно описані в книзі Говоруценка М.Я. та Туренка А. М. "Системотехніка транспорту", ч. 1, с. 124-181.

Отже, коефіцієнт сумарних дорожніх опорів можна представити як суму основного коефіцієнта опору коченню й коефіцієнта, що враховує перераховані додаткові опори:

$$\Psi = f_o + f_{дон}.$$

На гарній дорозі коефіцієнт $f_{дон}$ близький до нуля, на дорогах з нерівностями може перевищувати основний коефіцієнт f_o в 2...3 рази.

Експериментальні значення коефіцієнта сумарного дорожнього опору для різних дорожніх покриттів:

Асфальтобетонне покриття:		Кам'яна бруківка	0,023...0,030
у гарному стані	0,014...0,018	Ґрунтова дорога:	
у задовільному	0,018...0,020	суха, укочена	0,025...0,035
Ґравійне покриття	0,020...0,025	після дощу	0,050...0,150

Сучасні шини помітно знижують опір коченню f_o – у легкових шин він в середньому 0,009, у вантажних 0,006...0,007.

На ґрунтових дорогах у твердому стані картина кочення коліс майже така ж. На деформівних дорогах (зволожений ґрунт) енергія руху витрачається, в основному, на утворення колії й на подолання сил тертя коліс об стінки колії, опору зрізу ґрунту й сил прилипання ґрунту. Швидкості руху на таких дорогах невеликі, тому інші складові виявляються нехтовно малими.

ЛЕКЦІЯ № 3 ВПЛИВ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Взаємодія системи "машина-людина" з елементами умов експлуатації. АТЗ працюють під постійним управлінням людини. Тому не можна відривати роботу машини від роботи людини, їх треба розглядати як єдину систему. Ця система функціонує в мінливих реальних умовах навколишнього середовища, які по-різному впливають на режим руху, ефективність і технічний стан АТЗ.

Будь-яка машина розрахована на роботу в якихось умовах. Кожний з факторів навколишнього середовища впливає на ефективність роботи машини, її технічний стан і довговічність. Деякі машини працюють у стабільних умовах: комп'ютери в приміщенні, верстати на заводі тощо. ДТЗ, на відміну від них, працюють під відкритим небом, у різну погоду, на різному рельєфі місцевості, у різних кліматичних зонах, на різних дорогах, в умовах різної інтенсивності використання й різної культури експлуатації. Це потрібно враховувати при плануванні їхньої експлуатації: буде різний добовий пробіг, а через це різний виробіток, різний дохід, різна витрата палива, мастил, шин, гідравлічної й охолодної рідини, акумуляторної кислоти; доведеться частіше або рідше обслуговувати й ремонтувати ТЗ, витратити більше або менше запчастин, електродів, металу для ремонту тощо. Все це необхідно знати організаторові транспортного процесу й комерційному менеджеру автотранспортного підприємства (АТП).

Зупинимося трохи докладніше на окремих групах факторів, що визначають умови експлуатації автомобіля (рис. 4).

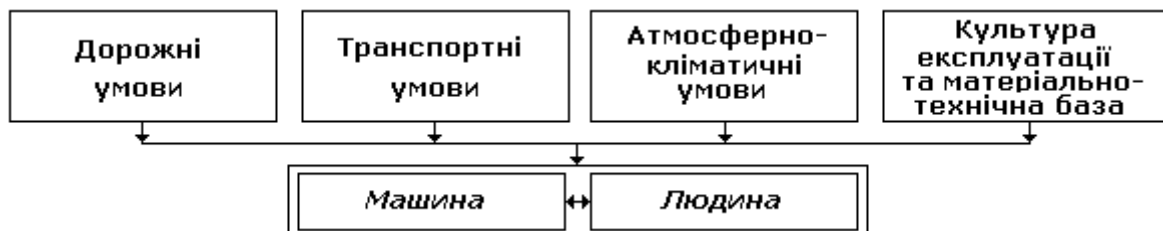


Рис. 4. Взаємодія системи "людина-машина" з елементами умов експлуатації

Дорожні умови – це характер дороги і її стан. Характер дороги визначається її накресленням у плані, поздовжнім профілем, висотою над рівнем моря (ВНРМ), типом покриття. Ці умови можна назвати постійними. Змінним є стан дороги: покриття зношене або розбите, вологе, брудне, зі снігом і льодом і т. ін.

Постійні та змінні фактори впливають на технологічні можливості машини та собівартість її роботи. При великій кількості поворотів або ухилів падає середня технічна швидкість, частіші та довші неусталені режими (розгін, накат, гальмування двигуном і робочими гальмами). На підйомах і при розгоні різко зростає навантаження на двигун, збільшується витрата палива. Відповідно зростають викиди шкідливих речовин.

Транспортні умови – це інтенсивність руху транспорту на даній ділянці дороги (вона відбиває й всі інші фактори, що впливають на швидкість транспортного потоку – світлофори, перехрестя й т.п.).

Дорожні й транспортні умови визначають швидкість машини, тобто її продуктивність, і режим роботи її агрегатів, від якого залежить зношування і працездатність ДТЗ. На гарній дорозі автомобіль їде на прямій передачі при помірному навантаженні. У складніших умовах доводиться переходити на знижувальні передачі, і двигун робить більше сумарне число обертів, та ще й при більшому навантаженні, тобто при більшому середньому тиску газів у циліндрах. При тому же пробігу двигун відпрацьовує більше, трансмісія передає більші крутні моменти, сильніше навантажені підвіска, рама, кузов, рульове керування. Чим складніший рельєф, тим сильніше діють ці фактори.

Важливу роль відіграє характер і стан покриття: чим воно гірше, тим більше трясє машину, через що доводиться знижувати швидкість.

Якщо дорога проходить високо в горах, порушується нормальна робота системи живлення двигуна (через знижений атмосферний тиск і температуру), що призводить до погіршення динаміки й економічності автомобіля й прискореного зношування двигуна. Швидкість знижується в середньому на 20 – 23 %, витрата палива зростає на 15-25%.

Несприятливо впливає більша інтенсивність руху й робота у великих містах зі складним планом і відсутністю швидкісних магістралей і розв'язок у різних рівнях. Навіть просто на шосе при підвищенні інтенсивності руху до 2000 автомобілів за добу технічна швидкість знижується майже в 2 рази.

Атмосферно-кліматичні умови також впливають на функціональні показники й технічний стан машини. При низькій температурі підвищується в'язкість палива, загущується олива, знижується ємність акумуляторних батарей; через це утрудняється пуск двигуна, він переохолоджується, може замерзнути вода в системі охолодження, стає інтенсивнішим зношування. У цілому падає потужність, а через неї – прийомистість автомобіля, тобто темп набору швидкості, і середня швидкість.

При високій температурі двигун перегрівається, закипає охолодна рідина, знижується потужність і збільшується витрата палива, гірше працювати водієві. Доводиться періодично зупиняти машину і підіймати капот для природного охолодження двигуна, що різко знижує експлуатаційну швидкість.

Від тривалих дощів утрудняється рух по ґрунтових дорогах, а на шосе зростає небезпека ковзання й заносу, що змушує переходити на знижувальні передачі й зменшувати швидкість.

Культура експлуатації й матеріально-технічна база. Мистецтво водія й ремонтника – найважливіший фактор, що забезпечує нормальну роботу й довговічність машини. У добрих руках машина працює довго й без поломок, у поганих – стоїть. Майстерність керування автомобілем сильно впливає на показники роботи – продуктивність, витрату палива, зношування вузлів. Умілий водій, не "ганяючи" машину, домагається вищих на 15...20 % технічних швидкостей, підвищеного на 40...50 % пробігу до капітального ремонту, безпеки руху й зниження витрати палива на 20- 30 %.

Сильно позначається на продуктивності й довговічності машин оснащеність АТП. Застосування сучасних методів і засобів технічного обслуговування й ремонту (ТОР) дозволяє різко скоротити простої автомобілів в обслуговуванні й ремонті та краще використати рухомий склад, але, з іншого боку, збільшує собівартість ТОР, а тому по кишені тільки великим АТП. Правильний вихід – кооперація й централізація ТОР. У будь-яких умовах необхідна наявність досвідчених фахівців і робітників. Досвідчений "дядько Василь" у гаражі часом коштує більше, ніж будь-яке устаткування. Досить важливе постійне навчання й підвищення кваліфікації кадрів, правильна система оплати праці: коли окремі автомобілі закріплені за конкретними ремонтниками й робота останніх оплачується залежно від виробітку автомобілів, технічний стан парку різко поліпшується. Дуже впливає на продуктивність і довговічність машин якість палива й експлуатаційних матеріалів. Все це, разом узятє, становить різні сторони культури експлуатації.

ЛЕКЦІЯ № 4 ЕКСПЛУАТАЦІЙНА КЛАСИФІКАЦІЯ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Завдання керівництва АТП – забезпечити високу ефективність перевезень і технічну готовність парку при низькій собівартості. Одна з необхідних для цього умов – реальність планування й нормування, забезпечення безперебійності постачання, своєчасності підтримання працездатності автомобілів з урахуванням фактичних умов роботи. Однак урахувати все різноманіття цих умов украй складно, особливо на стадії планування, тобто розрахунку показників роботи автомобіля на майбутній період. І тут стає у пригоді класифікація умов роботи, тобто віднесення їх до того або іншого класу, для якого відомі з досвіду поправочні коефіцієнти для планування. Класифікація не дає суперточних чисел, але все-таки вказує орієнтири й забезпечує нормативну базу для правильного реагування на мінливі умови роботи.

На автотранспорті застосовуються різні класифікації: своя класифікація при розрахунку тарифів на автоперевезення, своя – при розрахунку зарплати водіїв, нормативної витрати палива, норм ресурсу шин або акумуляторів тощо. Багато років використовувалася класифікація, закладена в "Положенні про ТО й ремонт рухомого складу автомобільного транспорту" (нижче – "Положення"). Цей документ призначений тільки для планування технічного обслуговування й поточного ремонту (ТОР) і не дає рекомендацій щодо розрахунку технічної швидкості й інших експлуатаційних показників. "Положення" класифікує умови експлуатації за місцем перевезень (місто, пригород, заміські дороги), за рельєфом місцевості, інтенсивністю руху й типом дорожнього покриття.

Таблиця 4

Класифікація умов роботи з "Положення про ТОР"

КУЭ	За межами приміської зони (>50 км від межі міста)	У малих містах (до 100 тис. мешк.) і в приміській зоні	У великих містах (більше 100 тис. мешканців)
I	Д1 – Р1,Р2,Р3	–	–
II	Д1 – Р4 Д2 – Р1,Р2,Р3,Р4 Д3 – Р1,Р2,Р3	Д1 – Р1,Р2,Р3,Р4 Д2 – Р1	
III	Д1 – Р5 Д2 – Р5 Д3 – Р4,Р5 Д4 – Р1,Р2,Р3,Р4,Р5	Д1 – Р5 Д2 – Р2,Р3,Р4,Р5 Д3 – Р1,Р2,Р3,Р4,Р5 Д4 – Р1,Р2,Р3,Р4,Р5	Д1 – Р1,Р2,Р3,Р4,Р5 Д2 – Р1,Р2,Р3,Р4 Д3 – Р1,Р2,Р3 Д4 – Р1
IV	Д5 – Р1,Р2,Р3,Р4,Р5	Д5 – Р1,Р2,Р3,Р4,Р5	Д2 – Р5 Д3 – Р4,Р5 Д4 – Р2,Р3,Р4,Р5 Д5 – Р1,Р2,Р3,Р4,Р5
V	Д6 – Р1,Р2,Р3,Р4,Р5		

Дорожні покриття:

- Д1 – цементобетон, асфальтобетон, брущатка, мозаїка
- Д2 – бітумомінеральні суміші (щебінь або гравій, оброблений бітумом)
- Д3 – щебінь (гравій) без обробки, дьогтебетон
- Д4 – кругляк, колотий камінь, ґрунт і крихкий камінь, оброблені в'язкими матеріалами; зимники
- Д5 – ґрунт, укріплений або поліпшений місцевими матеріалами; лежневе й покриття з деревини;
- Д6 – природні ґрунтові дороги; тимчасові внутрішньокар'єрні й відвальні дороги; під'їзні колії без твердого покриття

Тип рельєфу місцевості (визначається висотою над рівнем моря): Р1 – рівнинний (до 200 м) // Р2 – слабкогорбкуватий (понад 200 до 300 м) // Р3 – горбкуватий (понад 300 до 1000 м) // Р4 – гористий (понад 1000 до 2000 м) // Р5 – гірський (понад 2000 м).

Далі враховуються природно-кліматичні умови, модифікація рухомого складу, використання його із причепом або без, вік автомобіля й культура експлуатації (досить умовно, тільки за кількістю автомобілів в АТП – вважається, що чим більше АТП, тим вище культура експлуатації). По кожній із указаних класифікаційних ознак призначалися свої коефіцієнти коригування нормативів (від двох до п'яти коефіцієнтів), які потім перемножувалися.

Це була офіційна класифікація, що діяла на всій території СРСР. Неважко побачити, що класифікація ця громіздка й досить довільна.

Протягом багатьох років учені кафедри експлуатації автомобілів ХАДІ й проблемної лабораторії діагностики автомобілів на чолі з д.т.н. Говорушечком М. Я. і к.т.н. Костровим М. М. удосконалювали свою класифікацію умов роботи автотранспорту. Головна ідея їхнього варіанта – єдиний показник, що відображує все різноманіття умов роботи, а саме **досяжна в даному сполученні умов експлуатації середня технічна швидкість**.

Цей універсальний показник повністю відображує сукупний вплив різних факторів умов експлуатації й дає більш обґрунтований критерій для коригування планів і норм. Легко бачити, по-перше, більш осмислений характер цієї класифікації, по-друге, більше охоплення варіантів. А головне – є об'єктивний критерій для віднесення маршруту до якоїсь категорії (у потрібну пору року або доби) – це досяжна технічна швидкість. Її можна визначити виміром на технічно справному автомобілі.

У табл. 4, запропонованій для нормування, за одиницю приймається швидкість, рівна для одиночного автобуса або вантажівки $0,7 V_{\max}$, а для автопоїзда – $0,65V_{\max}$; для легкового автомобіля або мікроавтобуса – $0,6V_{\max}$ (V_{\max} – максимальна швидкість по технічній характеристиці автомобіля).

Використання цієї гнучкої класифікації дозволяє різко підвищити реальність планування роботи АТЗ.

Класифікація умов роботи, запропонована в ХАДІ

Умови роботи	Класифікаційна ознака	Підкласи	Позначення	Межі зміни параметрів	Відносні коефіцієнти зміни швидкостей
Дорожні	Висота над рівнем моря, h, м	Гори низькі	Г ₁	0...1700	1...0,8
		Гори середні	Г ₂	1700...2900	0,8...0,62
		Гори високі	Г ₃	2900...3700	0,62...0,52
		Гори дуже високі	Г ₄	3700...4500	0,52...0,45
	Поздовжній профіль (рельєф), і, %	Рівнинні	Р	0...2,2	1...0,8
		Хвилясті	В	2,2...3,7	0,8...0,62
		Горбкуваті	Х	3,7...4,9	0,62...0,52
		Низькогір'я (передгір'я)	Н	4,9...5,8	0,52...0,45
		Перевальні	П	5,8...6,5 и >	0,45...0,38 и <
	Тип і стан покриття, ψ	Відмінні	о	0,014...0,018	1...0,8
Гарні		х	0,018...0,022	0,8...0,62	
Задов.		у	0,022...0,028	0,62...0,52	
Погані		п	0,028...0,034	0,52...0,45	
Бездоріжжя (дуже погані)		б	0,034...0,042 і більше	0,45...0,38 і менше	
Транспортні	Інтенсивність руху, U, авт./год	Легкі	л	0...1100	1...0,8
		Середні	с	1100...1900	0,8...0,62
		Утруднені	з	1900...2500	0,62...0,52
		Важкі	т	2500...3000	0,52...0,45
		Критичні	к	3000...3400 і більше	0,45...0,38 і менш

Таблиця 6

Орієнтовна таблиця груп умов експлуатації (ГУЕ)

ГУЕ	Швидкість	Продуктивність	Собівартість	Пробіг до КР, періодичність ТО	Витрата палива	Викид шкідливих речовин
1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2	0,80	0,85	1,10	0,90	1,10	1,30
3	0,63	0,75	1,30	0,77	1,30	1,80
4	0,53	0,70	1,50	0,67	1,50	2,80
5	≤0,46	0,65	1,70	0,59	≥1,70	4,00

ЛЕКЦІЯ № 5 НОРМУВАННЯ ВИТРАТИ ПАЛИВА. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВИТРАТИ ПАЛИВА

Необхідність економії палива відчувається усе гостріше в усьому світі. При збереженні нинішніх темпів витрати нафти її запасів вистачить на 30-50 років. Ще Д.І. Менделєєв казав: "Палити нафтою – все одно що палити асигнаціями" (тобто паперовими грішми). Нікола Тесла: "Якщо ми використовуємо паливо для одержання енергії, ми проживаємо свій капітал і дуже швидко його витратимо. Це варварський і безумно марнотратний спосіб, і нас треба зупинити в ім'я прийдешніх поколінь".

Автотранспорт споживає близько 30% світлих нафтопродуктів. Постійно зростає ціна палива й масел, росте частка цієї статті витрат у собівартості перевезень. Тому завдання економії палива виходить на перше місце в роботі автомобілістів після безпеки руху (БД) і екологічної безпеки. Витрата палива залежить від багатьох факторів, що характеризують режими роботи й умови експлуатації автомобіля. Для планування автомобілісти-практики використовують норми витрати палива, установлені Міністерством транспорту.

Нормування витрати палива. Нормування – це розрахунок нормативної, тобто технічно обґрунтованої кількості палива, яку може витратити автомобіль на дану роботу. Це потрібно для правильного планування (на такий-то період буде потрібно скільки-то палива, на нього потрібно скільки-то грошей і т.д.). З іншого боку, норма – це спосіб стримувати водіїв і не давати їм розкратити паливо й продавати його.

Усю витрату палива можна розділити на дві групи: постійна витрата на переміщення самого автомобіля та змінна витрата на переміщення вантажу, тобто на транспортну роботу. Тому встановлюють дві норми. Основна, або базова лінійна норма H_S – це припустима витрата палива в літрах (або m^3 для газового палива) на 100 км пробігу. Додаткова норма H_W – це припустима витрата палива на 100 т·км (2 л для бензину, 1,3 для дизпалива й т.д.). Ці норми встановлюють емпірично (дослідним шляхом). Зараз в Україні діють "Норми витрати пального й мастильних матеріалів", затверджені наказом міністра транспорту. У цьому документі, крім зазначених, наведені ще й інші норми: H_g – норма на одну тонну спорядженої маси понад номінальне значення (наприклад, на причіп або кузов-фургон на звичайній бортовій вантажівці); H_z – норма на одну їздку з вантажем для самоскидів – вона враховує витрату палива при маневруванні та підйомі кузова (0,25 літра або $0,25 m^3$ природного газу); H_{SC} – норма на пробіг при виконанні спеціальної роботи – для снігоочисників, поливальних й ін. спецмашин; $H_{об}$ – норма на одну годину роботи спеціального обладнання, наприклад, автокрана; $H_{он}$ – норма на одну годину роботи незалежного обігрівача салону.

Базова лінійна норма встановлюється для вантажних автомобілів у спорядженому стані; для легкових автомобілів, автобусів (повною масою до 3,5 т) і для самоскидів – з половиною навантаження; для автобусів повною масою вище 3,5 т – з повним навантаженням.

Є система коефіцієнтів коригування норм. При деяких умовах норми підвищують. У зимовий час: при температурі від 0 до $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ – до 5%, від -10 до $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ – до 10%, від $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ і нижче – до 15%. При роботі в горах: ВНРМ від 500 до 1500 м – до 5%, від 1501 до 2000 м – до 10%. На дорогах зі складним накресленням у плані (не менш 501 повороту радіусом менш 40 м на 100 км шляху) – до 10%. У місті: до 0,5 млн. чол. – 5%, від 0,5 до 1 млн. чол. – до 10%, більше 1 млн. чол. – до 15%.

Для маршрутних автобусів й ін. машин (обслуговування поштових скриньок, інкасація, обслуговування хворих і т.п.), коли потрібно багато технологічних зупинок (більше 1 на 1 км шляху), – до 10%.

При виконанні робіт, що вимагають знижених швидкостей руху (до 20 км/год) у задовільних дорожніх умовах (перевезення великогабаритних, вибухонебезпечних, скляних, крихких вантажів, при виконанні сільськогосподарських робіт і т.п.) – до 10%. Робота у важких дорожніх умовах (у кар'єрах, їзда по полях, на лісових або степових ділянках, по пересіченій місцевості) – до 20%. У надважких умовах (сезонне бездоріжжя, снігові або піщані замети, повені й інші стихійні лиха) – до 35%. Ці три коефіцієнти застосовувати одночасно заборонено.

Під час обкатування нових або капітально відремонтованих автомобілів, протягом першої тисячі кілометрів – до 10%. Для автомобілів, експлуатованих більше 8 років, – до 5%. Погодинна робота вантажних (вантажопасажирських) автомобілів або їхня постійна робота як технологічного транспорту або таксомоторів – до 10%. При навчальній їзді – до 15%. При використанні кондиціонера або клімат-контролю – на 5-10%. Для оперативних ДТЗ при русі зі швидкостями вище дозволених – у місті на 10%, за містом на 20%.

У ряді випадків норми зменшують. За межами приміської зони на дорогах із цементобетону, асфальтобетону, брущатки, мозаїки – до -15%, а на дорогах з бітумомінеральної суміші, дьогтебетону, щебеню (гравію) – до -5% (приміська зона: до 50 км від границі міста з населенням більше 2,5 млн. чол., до 15 км при населенні від 0,5 до 2,5 млн. чол., до 5 км – менш 0,5 млн. чол.). Експлуатація міських автобусів на замовлення або з іншою метою, але не на постійних маршрутах – до -10%.

У випадку застосування одночасно декількох коригувальних коефіцієнтів підраховують сумарний коефіцієнт коригування:

$$K_{\Sigma} = K_1 + K_2 + K_3 + \dots + K_n.$$

Розрахунок нормативної витрати пального для різних типів рухомого складу. Для легкових автомобілів і автобусів:

$$Q_H = 0,01 \cdot H_S \cdot S \cdot (1 + 0,01K_{\Sigma}),$$

де S – пробіг автомобіля, км.

Для бортових вантажних автомобілів і сідельних тягачів у складі автопоїздів, автомобілів-фургонів і вантажопасажирських автомобілів, що виконують транспортну роботу, яка враховується в тонно-кілометрах:

$$Q_H = 0,01 \cdot (H_{SA\Pi} S + H_W \cdot W) \times (1 + 0,01 K_\Sigma),$$

де $H_{SA\Pi}$ – лінійна норма витрати пального на пробіг автопоїзда, л/100 км:

$$H_{SA\Pi} = H_S + H_g \cdot G_{\text{ГПР}},$$

де $G_{\text{ГПР}}$ – споряджена маса причепа або напівпричепа, т;

W – транспортна робота, т км.

Для самоскидів і самоскидних автопоїздів:

$$Q_H = 0,01 \cdot H_{SA\Pi C} S \cdot (1 + 0,01 K_\Sigma) + H_Z Z,$$

де $H_{SA\Pi C}$ – лінійна норма витрати пального на пробіг самоскидного автопоїзда, л/100 км:

$$H_{SA\Pi C} = H_S + H_W \cdot (G_{\text{ГПР}} + 0,5g),$$

де g – вантажопідйомність причепа, т.

Це надійні норми, що базуються на дослідних даних. Однак використана в них система коригування досить складна й дає занадто великі діапазони можливих значень нормативів. Крім того, з'являються нові моделі автомобілів, для яких ще немає дослідних даних.

Математична модель витрати палива, запропонована М.Я. Говорущенком, відображує фізичні процеси, що відбуваються у двигуні, ураховує умови експлуатації і дає досить точні результати (у л/100 км):

$$Q = \frac{1}{\eta_i} \left[A \cdot i_\kappa + B \cdot i_\kappa^2 \cdot V_a + C (G_a \cdot \psi + 0,077 kF \cdot V_a^2 \pm 0,1\beta \cdot G_a \cdot dV_a / dt) \right]$$

$$A = \frac{7,95 a_1 \cdot V_h \cdot i_0}{H_u \cdot \rho \cdot r_\kappa}; B = \frac{0,69 b_1 \cdot V_h \cdot S_n \cdot i_0^2}{H_u \cdot \rho \cdot r_\kappa^2}; C = \frac{100}{H_u \cdot \rho \cdot \eta_{\text{тр}}},$$

де η_i – ККД індикаторний;

i_κ, i_0 – передаточні числа коробки передач і головної передачі;

$V_a, dV_a/dt$ – швидкість автомобіля, км/год, і прискорення, м/с²;

G_a – розрахункова вага автомобіля (з фактичним навантаженням), Н ($G_a = m_a \cdot g$);

ψ – коефіцієнт сумарного дорожнього опору; $\psi = f_o + f_{\text{дон}} \pm i$, де i – ухил, тобто тангенс нахилу площини дороги;

kF – фактор обтічності, Н·с²·м⁻⁴;

$\beta \approx 1 + a_\kappa$ – коефіцієнт, що враховує вплив обертових мас коліс і трансмісії; $a_\kappa = 0,03 \dots 0,05$ для легкових автомобілів, $0,05 \dots 0,07$ для вантажних і автобусів;

S_n – хід поршня, м (рис. 5);

V_h – робочий об'єм двигуна, л;

$$V_h = 1000Z \cdot \pi D_{ц}^2 \cdot S_n / 4,$$

где $D_{ц}$ – діаметр циліндра, м;

Z – кількість циліндрів (об'єм камери згоряння $V_{кc}$ у робочий об'єм не входить);

H_u – нижча теплота згоряння, кДж/кг (44000 для бензину, 43000 для дизпалива; за правилами Еко-марафону для бензину вважають 42900);

r_k – динамічний радіус колеса (радіус кочення без прослизання), м; для діагональних шин: $r_k \approx 0,51$

$D_{об} + 0,91 V_{ш}$; для радіальних шин: $r_k \approx 0,50 D_{об} + 0,94\alpha V_{ш}$; ($D_{об}$ – діаметр обода, м; $V_{ш}$ – ширина профілю, м; α – коефіцієнт профільності; у шини 175/70R13 $D_{об} = 13 \times 25,4 = 330,2$ мм; $V_{ш} = 175$ мм; $\alpha = 0,7$, т. е. 70%; $r_k \approx 0,50 \times 330,2 + 0,94 \times 0,7 \times 175 = 280,25$ мм; по довіднику – 281 мм); радіус кочення для радіальних шин можна приймати близько 1,06 від статичного радіуса;

ρ – густина палива, кг/л (0,72...0,76 для бензину, 0,82...0,86 для дизпалива);
 η_{mp} – ККД трансмісії (приблизно 0,875 для вантажного автомобіля з одним ведучим мостом, 0,825 – при двох ведучих мостах; для легкового задньопривідного автомобіля до 0,9, передньопривідного – 0,94...0,95). "Сухе" однодискове зчеплення "з'їдає" не більше 0,2% переданої потужності, підшипники валів – трохи менше відсотка, а дві зубчасті пари – ще 2%. Разом – 3% втрат. А на прямій передачі – і зовсім один-єдиний відсоток! У гідромеханічних "автоматів" втрати 13,3%. Однак зараз відразу після старту гідротрансформатор блокують спеціальним фрикціоном. У цьому випадку в ньому губиться всього 1% переданої потужності – і тоді сумарні втрати не перевищують 6,3%. Преселективна коробка передач із двома зчепленнями має ККД до 97%.

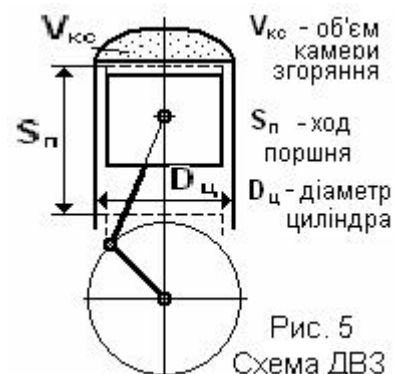


Рис. 5
Схема ДВЗ

Таблиця 7

Середні значення емпіричних коефіцієнтів a_1 , b_1

	Карбюраторний двигун	Дизельний двигун
$\sim a_1$, кПа	45	48
$\sim b_1$, кПа·с/м	13	16
A	$358 \cdot V_h i_0 / (H_u \rho r_k)$	$381 \cdot V_h i_0 / (H_u \rho r_k)$
B	$9 \cdot V_h S_n i_0^2 / (H_u \rho r_k^2)$	$11 \cdot V_h S_n i_0^2 / (H_u \rho r_k^2)$

Таблиця 8

Значення коефіцієнтів A, B, C для деяких моделей

Модель	A	B	C
ЗиЛ-431410	0,85	0,026	0,0035
КаМАЗ-5320	1,52	0,070	0,0030
ГАЗ-31029	0,31	0,008	0,0033
ЗАЗ-1102	0,09	0,0063	0,0033

Вираз у круглих дужках – це сума діючих опорів: дорожніх, повітря й сил інерції. Щоб підставляти у формулу швидкість не в м/с, а в км/год, уведений коефіцієнт $0,077=1/3,62=1/12,96$. У третьому члені $0,1$ – округлене значення $1/9,80665 = 0,10197 \approx 0,1$; на цю величину треба множити вагу, щоб одержати масу. Знак \pm перед $0,1$ указує на те, що сили інерції можуть створювати опору при розгоні (+) або ж підтримувати швидкість автомобіля при русі накатом (-).

Наведена формула враховує всі основні фактори: конструкцію двигуна й автомобіля, якість палива, режими руху, власну вагу й завантаження автомобіля, стан дороги, температуру й тиск повітря (через густину палива й повітря). Транспортні умови визначають досяжну середню технічну швидкість і використовувану передачу в КП.

ЛЕКЦІЯ № 6 ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНИХ І ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ФАКТОРІВ НА ВИТРАТУ ПАЛИВА

Розглянемо, як впливають на витрату палива різні групи факторів: конструкція автомобіля й двигуна, якість палива, режими руху й умови роботи автомобіля.

Індикаторний ККД η_i – це відношення теплоти, перетвореної в механічну роботу циклу, до всієї теплоти, внесеної у двигун з паливом. На робочих режимах у сучасних бензинових двигунів з високим ступенем стиску η_i варіює в межах 0,34...0,37, у дизелів доходить до 0,5. Чим вище η_i , тим нижче витрата палива. Для наших задач η_i можна обчислити, виходячи з відсотка використання потужності N_1 , який визначається в основному швидкістю й навантаженням автомобіля:

$$N_1 = \frac{0,0277 \cdot V_a \cdot (G_a \cdot \psi + 0,077 \cdot kF \cdot V_a^2)}{N_{\max} \cdot \eta_{mp}} \%.$$

Залежність η_i від N_1 (рис. 6):

для карбюраторного двигуна: до $N_1=80\%$ – $\eta_i = 0,256 + 0,0012N_1$,

при $N_1 > 80\%$ – $\eta_i = 0,63 - 0,00343N_1$,

для дизеля: $\eta_i = 0,43 + 0,003N_1 - 0,0003N_1^2$.

Робочий об'єм двигуна й хід поршня – постійні характеристики двигуна, вони не залежать від експлуатаційників. **Нижча теплота згоряння H_u** визначається фракційним складом палива. Однак цей склад впливає й на інші властивості, у тому числі утворення нагару, шкідливі викиди й т.д.

Передаточне число коробки передач i_k – найдужчий фактор, що впливає на витрату палива й зношування двигуна, тому що механічна робота двигуна і його ресурс визначаються не пробігом автомобіля, тобто сумарним числом обертів коліс, а сумарним числом обертів колінвала (ЗИЛ-130: $i_{kV}=1$; $i_{kIV}=1,47$; $i_{kIII}=2,29$; $i_{kII}=4,1$; $i_{kI}=7,44$). Витрата палива за один оберт колінвала – приблизно постійна величина. Тому рух на понижувальних передачах збільшує витрату палива й зношування двигуна при тому самому пробігу автомобіля, тобто його оплаченій роботі. Водій вибирає передачу, виходячи з умов руху й керуючись своїм досвідом. У різні моменти руху він включає різні передачі. При розрахунках слід підставляти середньозважене значення

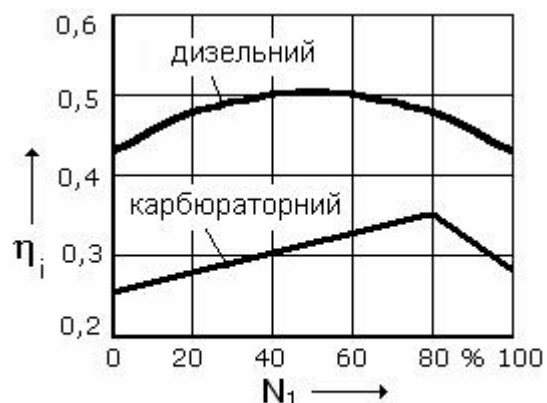


Рис. 6. Залежність індикаторного ККД від процента використання потужності

$$i_k = \frac{\sum_{j=1}^n l_j \cdot i_{kj}}{\sum_{j=1}^n l_j},$$

де l_j – пробіг автомобіля при включеній j -тій передачі з передатним відношенням i_{kj} .

Не маючи спеціального устаткування, ми не можемо точно замірити це значення; однак його можна оцінити, знаючи завантаження автомобіля й дорожні умови:

$$i_k = \frac{R_k \cdot G_a}{M_{\max} \cdot K_E \cdot \eta_{mp} \cdot i_0} \cdot \psi = A \cdot \psi,$$

де M_{\max} – максимальний крутний момент двигуна, Н м; K_E – коефіцієнт експлуатаційного зниження крутного моменту (у середніх умовах 0,38...0,40).

З математичної моделі витрати палива видно, що дуже велику частку палива ми витрачаємо на переміщення **власної маси автомобіля**, а не оплачуваного навантаження. Виходить, потрібно прагнути до максимального використання вантажопідйомності (або місткості) автомобіля. Втім, це очевидно й без розрахунків.

Відчутно впливає на витрату значення **ККД трансмісії**. У процесі експлуатації ККД трохи міняється: за час обкатки дещо підвищується, при нормальній експлуатації теж росте, хоч повільніше, а при великих пробігах, коли настає інтенсивне зношування, різко знижується. ККД трансмісії сильно спадає при розрегулюваннях головної передачі, відсутності мастила, влученні в мастило пилу й піску. Втрати енергії в трансмісії лише в невеликій мері визначаються переданим крутним моментом. Значно більший внесок вносять втрати на перемішування мастила (рис. 7).

Маса перевезеного вантажу збільшує витрату палива, але не прямо пропорційно, а повільніше. По-перше, у квадратних дужках є члени, які від неї не залежать, по-друге, з її збільшенням зростає й відсоток використання потужності, отже, індикаторний ККД, що стоїть у знаменнику. Звичайно, не варто навмисно знижувати масу вантажу – саме вона дає нам доходи, які перекривають витрати на паливо.

Сумарний дорожній опір, який оцінюється коефіцієнтом ψ , впливає на витрату палива так само, як і завантаження автомобіля. Однак цей опір впливає й побічно, оскільки зі збільшенням ψ падає досяжна технічна швидкість автомобіля:

$$V_a = 0,01 \cdot V_{\max} \cdot K_1 / \psi,$$

де $K_1=1$ для навантаженого автомобіля, 1,1 для порожнього, 0,9 для автопоїзда; V_{\max} – максимальна швидкість автомобіля по характеристиці.

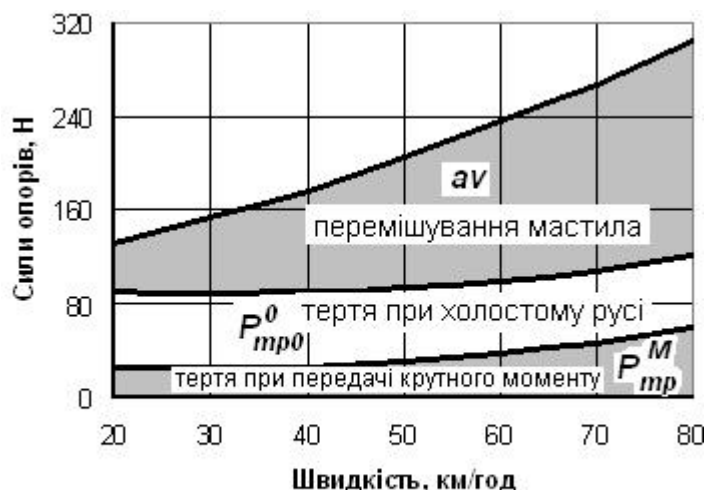


Рис. 7. Структура опорів у трансмісії вантажного автомобіля при русі горизонтальною дорогою

Швидкість, яку може розвинути автомобіль, значно змінюється в різних умовах експлуатації й особливо сильно впливає на витрату палива. Правильно вибираючи швидкість, можна використати найвигідніші режими руху й домогтися значної економії палива. У загальному вигляді залежність витрати палива бензинового автомобіля в л/100 км від досяжної середньої технічної швидкості руху, якщо ввести в неї вже розглянуті формули для ψ й і відсотка використання потужності, така:

$$Q = \frac{\left[A \cdot i_k + B \cdot i_k^2 \cdot V_a + C(G_a \cdot \psi + 0,077 \cdot kF \cdot V_a^2) \right] \times N_{\max} \eta_{TP}}{0,256 N_{\max} \cdot \eta_{TP} + 3,32 \cdot 10^{-5} \cdot V_a (G_a \cdot \psi + 0,077 \cdot kF \cdot V_a^2)}$$

Ця залежність має екстремум – мінімум (мал. 8). Виходить, для кожного автомобіля існують умови експлуатації (і швидкість, яку вони допускають), при яких витрата палива буде мінімальна. Але, може, при мінімальній витраті палива інші статті витрат на перевезення стануть вище й перекриють економію палива? Виявляються, ні – інші статті помітно пов'язані з витратою палива. Отже, для підвищення паливної економічності автомобіля треба збільшувати його навантаження і швидкість руху (природно, це поліпшує й загальну економічність), а також правильно вибирати передачу. Так, для автомобіля ЗІЛ-431410 при $\eta_i \approx 0,33$

$$Q = 2,49 \cdot i_k + 0,096 \cdot i_k^2 \cdot V_a + 0,0105 \cdot G_a \cdot \psi + 0,0026 \cdot V_a^2.$$

Витрата палива на прямій передачі ($i_k=1$) при швидкості 50 км/год і $G_a=1000$ Н (порожній автомобіль на асфальтобетоні) складе 26,6 л/100 км, на 3-й передачі ($i_{kIII}=2,29$) – 43,9 л/100 км, тобто вище на 65%.

Далі звернемо увагу на інерційну складову. Хоч у рівнянні й стоїть знак \pm , насправді зниження витрати при русі накатом не дорівнює її збільшенню при розгоні: по-перше, через те, що ККД автомобіля менше одиниці, по-друге, при русі накатом навіть із вимкненим запалюванням паливо подається в циліндри й викидається в атмосферу (це не стосується сучасних двигунів з керованим упорскуванням або з електромагнітним клапаном для перекриття подачі палива). Рух з постійною швидкістю економічніший – про це знали ще в 30-х роках ХХ сторіччя.

Основний резерв економії палива – підвищення коефіцієнтів використання вантажопідйомності й пробігу.

Матмодель дає гарний збіг з емпіричними нормами. Отже, по ній можна успішно розраховувати норми для нових моделей автомобілів і різних умов експлуатації.

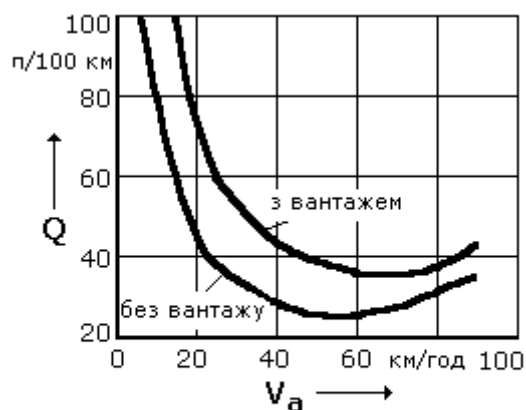
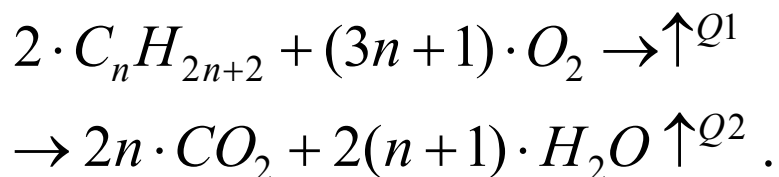


Рис. 8. Залежність витрати палива автомобілем ЗІЛ-31410 від досяжної середньої технічної швидкості

ЛЕКЦІЯ № 7 ШКІДЛИВІ ВИКИДИ АВТОМОБІЛІВ

Шкідливі компоненти, що забруднюють довкілля. Ми спалюємо паливо, щоб зробити корисну роботу. Що при цьому відбувається з погляду хімії й фізики? Паливо – це суміш вуглеводнів. Прийmemo для простоти, що всі вони алкани (тобто насичені вуглеводні) із загальною формулою C_nH_{2n+2} . Горіння – це окиснення, тобто з'єднання з киснем:



Для окиснення одного моля палива ми витратили $1,5n+0,5$ моля кисню, а він потрібний для дихання людям, тваринам і рослинам. Ми викинули в атмосферу велику кількість тепла $Q1 - 43...44$ МДж на кожен кілограм згорілого палива, та ще $2...2,5$ МДж/кг виділилося при конденсації водяної пари ($Q2$). Останні два сторіччя техногенне нагрівання атмосфери неухильно зростає, і кліматологи б'ють тривогу: уже відзначене зменшення льодових полярних шапок Землі, а це грозить підйомом рівня світового океану й затопленням величезних ділянок суши, що населені і обробляються. Катастрофу наближає й вуглекислий газ, що створює парниковий ефект: сонячні промені, проходячи крізь шар CO_2 , нагрівають поверхню Землі, але тепло не може піти в космос, CO_2 працює як ковдра.

У грудні 1997 р. був прийнятий міжнародний документ – Кіотський протокол. Він зобов'язує скоротити або стабілізувати викиди парникових газів. Мета – знизити в 2008-2012 р. сукупний середній рівень викидів 6 типів газів (CO_2 , CH_4 , гідрофторвуглеводні, перфторвуглеводні, N_2O , SF_6) на 5,2 % у порівнянні з рівнем 1990 р. Росія й Україна зобов'язалися зберегти середньорічні викиди в 2008-2012 р. на рівні 1990 р.

У Європі автомобільний транспорт є причиною близько 20% всіх викидів CO_2 , у тому числі легкові автомобілі – близько 12%. І ці цифри ростуть: від 21% в 1990 році до 28% в 2004 році. ЄС поставив мету знизити викид CO_2 до 120 г/км для всіх нових легкових автомобілів до 2012 р. Однак домоглися в 2005 році лише 160 г/км (від 186 г/км в 1995).

З іншого боку, усе більше нафти потрібно для виробництва синтетичних матеріалів, у тому числі й кормів. Те, що ми спалюємо у двигунах сьогодні, не зможуть з'їсти наші онуки завтра. Що ж робити?

1) удосконалювати конструкцію автомобілів і двигунів, щоб підвищити ККД і знизити нагрівання атмосфери; 2) шукати заміну вуглеводневому паливу, щоб зменшити парниковий ефект. Цим інтенсивно займаються вчені й інженери в усьому світі, намічені цікаві перспективи, досягнуті певні успіхи. У числі інших заходів, новий закон Євросоюзу обмежує опір коченню шин. До 2014 року він має становити не більше 0,0105. Це допоможе заощаджувати бензин і зменшувати, тим самим, шкідливі викиди. Усе більше стає гібридних автомобілів. На нових автомобілях широко застосовуються наддування,

системи стоп-старт і рекуперация енергії гальмування. А що робити нам, експлуатаційникам? Використати всі доступні засоби, щоб зменшувати витрату палива.

Але крім проблем завтрашніх, існують і проблеми сьогоднішні: відпрацьовані гази (ВГ) містять не тільки невинні CO_2 і воду, але й безліч домішок, у тому числі токсичних (отруйних). Насамперед, це продукти неповного згоряння палива (170 речовин з 200, що входять в ВГ) – монооксид вуглецю CO (окис вуглецю), незгорілі вуглеводні, незгорілий вуглець (сажа) і ін. Утворюються й інші токсичні з'єднання, наприклад, альдегіди й бенз[а]пірен. Під впливом CO еритроцити крові втрачають здатність брати участь у газовому обміні. Наступає кисневе голодування, яке насамперед впливає на мозок. Людина відчуває головний біль, засипає, а при великій дозі CO – назавжди. Багато які вуглеводні токсичні: метан, етан, пропан (популярне в детективах отруєння побутовим газом), етилен, ацетилен, бензол. Тому припустима концентрація пари бензину в повітрі – $1,5 \text{ мг/м}^3$, усього в 1,5 рази більше припустимої концентрації CO . Альдегіди (формальдегід, акролеїн) шкідливо діють на нервову систему й органи дихання. Особливо отруйний акролеїн, уже при концентрації 0,002% він викликає сильне подразнення слизових оболонок. Сажа безпечна сама по собі, але на її частках адсорбуються молекули різних з'єднань, наприклад, бенз[а]пірена. Бенз(а)пірен – типовий хімічний канцероген, він небезпечний для людини навіть при малій концентрації, оскільки має властивість біоаккумуляції – накопичування в організмі).

Висновок: необхідно домагатися повнішого згоряння палива. Якими способами?

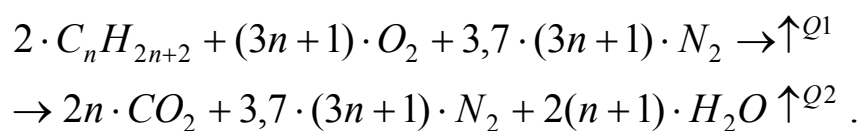
Насамперед, слід ширше використати режими роботи при збідненій суміші ($\alpha > 1$): чим більше повітря, тобто кисню в паливоповітряній суміші, тим повніше згоряння. Коефіцієнт надлишку повітря α – відношення фактичної кількості повітря в суміші до теоретично необхідного, тобто такого, при якому кисню в суміші рівно стільки, скільки необхідно для повного згоряння палива без залишку (тоді $\alpha = 1$).

Менше працювати на холостому ході.

Домагатися поліпшення сумішоутворення – гомогенізації суміші, тобто такого стану, коли паливо розпилене в повітрі дрібними, приблизно однако-вими краплями, рівномірно розподіленими по обсязі. Для цього застосовують різні вставки між фланцями карбюратора й впускного колектора у вигляді сіток, лопатей і т.п. Вони збільшують турбулентність потоку й сприяють перемішуванню суміші, однак, будучи перешкодами на шляху потоку, зменшують його швидкість, погіршують наповнення камери згоряння й знижують потужність. Набагато краще створений у ХАДІ ультразвуковий гомогенізатор. Ультразвук роздроблює великі краплі й розриває плівки палива. Гомогенізатор не є перешкодою для потоку, тому не знижує потужність. Завдяки повнішому згорянню не тільки зменшується вміст CO і CH у ВГ, але й зменшується на 5...10% витрата палива.

У сучасних ДВС із упорскуванням палива сопла форсунок забезпечують необхідну якість розпилення палива й гомогенність суміші.

Однак всі перераховані заходи мають і зворотний бік. Зі збільшенням α (під навантаженням і при середніх оборотах) підвищується температура й тиск у камері згоряння – і утворюється більше оксидів азоту. У звичайних умовах азот інертний і не вступає в реакції окиснення. Але ж він присутній, ми подаємо у двигун не чистий кисень, а повітря, у якому азоту 78%, тобто в 3,7 рази більше, ніж кисню, якого 21%. Строго кажучи, нашу хімічну реакцію треба було записати так:



Отже, виявляється, в автомобільному вихлопі більш за все саме азоту [3,7 (3n+1)], потім водяної пари [2 (n+1)], потім вуглекислого газу [2n]. Всі інші речовини присутні у вигляді домішок – їх мало, але вони дуже шкідливі.

Повернемося до азоту. Щоб він почав з'єднуватися з киснем, потрібні високі температури й тиски, або ж дія електричних розрядів і інших іонізуючих факторів. Саме такі умови мають місце у камері згоряння, і чим краще згоряння, тим вище температура й тиск і тим більше оксидів азоту утвориться (мал. 9). Найнебезпечніші геміоксид N_2O (закис азоту, "сміховий газ" – наркотична речовина), оксид NO і діоксид NO_2 – ангідриди азотистої й азотної кислот; потрапляючи в організм людини, вони з'єднуються з парами води й перетворюються в кислоти, які руйнівно діють на легені. Небезпечні захворювання виникають при концентрації оксидів азоту 0,01%. Гранично допустима середньодобова концентрація (ГДКсд) для оксидів азоту – 0,1 мг/м³.

Ступінь токсичності різних складових ВГ різна (див. табл. 9).

Таблиця 9

Ступінь токсичності складових ВГ

Найменування шкідливої речовини	Показник відносної агресивності	Коефіцієнт небезпеки (1/ГДКсд)
Окис вуглецю CO	1	0,33
Оксиди азоту в перерахуванні на NO ₂	41,1	25
Пари насичених C _n H _m	3	0,67
Бенз[а]пірен	5·10 ⁵ (500.000)	10 ⁶ (1.000.000)
З'єднання свинцю	3·10 ³ (3.000)	3333
Сажа	200	20

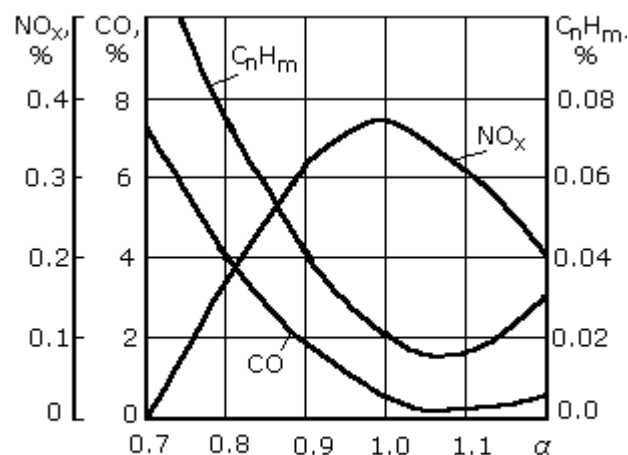


Рис. 9. Залежність викиду шкідливих речовин від коефіцієнта надлишку повітря

Отже, ті заходи, які знижують зміст у ВГ порівняно безпечних СО і СН, підвищують викид NOx. Щоб знизити їхнє утворення, застосовують рециркуляцію – повертають частину ВГ з випускного колектора у впускний. ВГ підігрівають паливоповітряну суміш і полегшують пароутворення, але виявляються значно холодніше робочих газів після спалаху, відбирають частину тепла й зрізують пік температури й тиску. Це різко знижує вміст NOx – на 35-40%, але трохи зменшує потужність двигуна. Дослідники ХНАДУ відзначили, однак, цікаве явище. Коли рециркульовані ВГ почали подавати через гомогенізатор (щоб він працював не тільки на холостому ході, але й на всіх режимах), потужність не тільки не знизилася, але навіть трохи підвищилася (приблизно на 0,5%).

У таблиці згадані високотоксичні з'єднання свинцю. Вони не є результатом неповного згоряння. Тетраетилсвинець додають у бензин для підвищення протидетонаційної стійкості. Раніше етилування широко застосовували в усьому світі. Це вкрай небезпечно. Коли в США використовували етилований бензин, там провели обстеження ґрунту, рослинності та тварин у смузі 50 м від шосе. Виявилось: у дощових хробаках стільки свинцю, що птах, який склював такого черв'яка, швидко вмирає. Зараз етилований бензин заборонений в Україні, але чи знаєте ви, що вам заливають на АЗС?

Для зменшення токсичності ВГ використовують каталітичні нейтралізатори. Зараз поширені нейтралізатори трикомпонентні окисно-відновні. У відновному контурі у присутності родію йде розкладання оксидів азоту на N₂ і O₂, в окисному – допалювання незгорілих СН і СО (до СО₂) з використанням виділеного раніше кисню. У близькому майбутньому чекати широкого їхнього використання в Україні не доводиться: вони дуже дорогі (~1000 \$), тому що використовують як каталізатори платину, паладій, родій (ціни в серпні 2010, \$ за тройську унцію, тобто 31,1 г: золото – 1238, платина – 1537, паладій – 507, родій – 2200. Вміст у руді – 10...20 г/т. Срібло – 19 \$; проблемі платини для нейтралізаторів присвячений відмінний роман-бойовик Фредерика Форсайта "Пси війни"). Крім того, нейтралізатор – пристрій пасивний, він не зменшує утворення шкідливих речовин, а тільки їх ліквідує – і при тім трохи знижує потужність двигуна. Більш привабливо виглядають пристрої, що активно управляють витратою палива й утворенням токсичних речовин. Деякі вже широко використовуються на серійних автомобілях (системи рециркуляції ВГ; економайзери примусового холостого ходу з електромагнітним клапаном для перекриття подачі палива; системи упорскування палива з електронним керуванням; закриті системи вентиляції картера з відводом газів з картера у впускний тракт). На машинах старих моделей вигідно застосовувати ультразвуковий гомогенізатор у сполученні з рециркуляцією ВГ: утворення СО і СН зводиться до нуля, вміст оксидів азоту знижується на 25-40% (при вартості комплекту 10-15 \$). Одночасно економиться 5-8% палива.

Вибір режимів руху. При русі автомобіля часто міняються швидкісні й навантажувальні режими роботи двигуна. Питома токсичність ВГ зі збільшенням навантаження на двигун знижується, досягаючи мінімуму при 80%-ному навантаженні для бензинових двигунів, 60-70%-ному – для дизелів (це

області оптимальних значень α). Найбільш сприятливий рух з постійною швидкістю. Але у великому місті двигун легкового автомобіля працює на холостому ході 20-22% часу, із прискоренням – 20-25%, із уповільненням – 22-25%, а на постійній швидкості – лише 27-37%. При гальмуванні двигуном (без відключення подачі палива), а це буває 16-18% часу, суміш різко збагачується, росте вміст СО і СН. Шкідливіше всього робота на максимальній швидкості з повним навантаженням – при цьому в атмосферу потрапляє в 8-10 разів більше продуктів згоряння, тобто різко зростає абсолютна кількість шкідливих викидів.

Виходить, стабільні режими руху сприяють економії палива й зменшенню викидів. Тут величезну роль можуть зіграти заходи щодо організації дорожнього руху ("зелена хвиля", розв'язки в різних рівнях, підземні пішохідні переходи, вулиці з одnobічним рухом і окружні дороги). Треба краще навчати водіїв, прищеплювати їм навички плавної їзди, без різких розгонів і гальмувань, роблячи упор при поясненнях на економії пального, бо це привабливий для водія показник.

Отже, головний висновок: для зменшення загальної загазованості й викиду шкідливих речовин (ШР) необхідно, у першу чергу, знижувати витрату палива. Підтримувати справний технічний стан рухомого складу й, у першу чергу, двигунів.

Розрахунок викиду ШР (у г/км) за методикою Говоруценка М.Я.:

$$Q'_{ШР} = 0,0548 M_{ШР} \cdot X_{ШР} \cdot \rho_T \cdot Q \cdot \alpha,$$

де $M_{ШР}$ – молекулярна маса шкідливої речовини; для СО $M_{ШР} = 12+16 = 28$, NO – 30, NO₂ – 46, сажа С – 14, вуглеводні для бензинових двигунів (розрахунок по гексану C₆H₁₄) – 86, для дизельних двигунів (розрахунок по нонану C₉H₂₀) – 128; $X_{ШР}$ – вміст шкідливої речовини, об'ємних %; ρ_T – густина палива, кг/л; Q – витрата палива, л/100 км; α – коефіцієнт надлишку повітря.

Вміст шкідливої речовини $X_{ШР}$ можна оцінити залежно від відсотка використання потужності N_1 по загальній формулі

$$X_{ШР} = A_2 + N_1 \cdot (B_2 + C_2 \cdot N_1).$$

A_2 , B_2 і C_2 для основних ШР – див. таблицю 10.

Значення коефіцієнта надлишку повітря α також можна оцінити в залежності від N_1 по наступних формулах:

- для карбюраторного двигуна $\alpha \approx 0,85 + 0,00337 \cdot N_1$;

- для дизельного двигуна $\alpha \approx 5 - 0,01 \cdot N_1 \cdot (63 - 0,28 \cdot N_1)$.

За методикою ЦНДЛТД (Москва) годинний викид забруднювачів

$$M = \sum_{i=1}^n A_i \cdot m_i,$$

де n – кількість забруднювачів; A_i – показник відносної агресивності (див. вище); m_i – масовий годинний викид, кг/год.

$$m_i = g_i \cdot N_{ДВ},$$

Таблиця 10

Значення коефіцієнтів A_2 , B_2 і C_2 для основних ШР

	X_{CO}		X_{CH}	
	карбюраторн. двигун	дизельний двигун	карбюраторн. двигун	дизельний двигун
A_2	2,692	0,05	0,057	0,017
B_2	-0,081	$-1,5 \cdot 10^{-3}$	$-1,21 \cdot 10^{-3}$	$-0,31 \cdot 10^{-3}$
C_2	$0,6 \cdot 10^{-3}$	$14 \cdot 10^{-6}$	$0,88 \cdot 10^{-5}$	$2,47 \cdot 10^{-6}$
	X_{NO}		X_C	
	карбюраторн. двигун	дизельний двигун	карбюраторн. двигун	дизельний двигун
A_2	0,258	0,02	–	0,053
B_2	$4,3 \cdot 10^{-3}$	$2,3 \cdot 10^{-3}$	–	$1,6 \cdot 10^{-3}$
C_2	$-4,4 \cdot 10^{-5}$	$-4 \cdot 10^{-6}$	–	$-5 \cdot 10^{-6}$

Таблиця 11

Питомі викиди шкідливих речовин

Найменування шкідливої речовини	Питомий викид, г/кВт год, двигуна	
	Бензинового	Дизельного
Окис вуглецю	175	7,6
Оксиди азоту	12	10,6
Вуглеводні	43	4,3
Бенз[а]пірен	$2 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$
З'єднання свинцю	$6,4 \cdot 10^{-3}$	–
Сажа	$300 \cdot 10^{-3}$	$1500 \cdot 10^{-3}$

де g_i – питомий викид токсичного компонента, г/кВт год; $N_{ДВ}$ – потужність, яку знімають з двигуна на даному режимі:

$$N_{ДВ} = 0,01 N_{\max} \cdot N_1,$$

де N_1 – відсоток використання потужності.

Як і в методиці Говорущенка, викид ШР обчислюється для конкретних умов роботи, які оцінюються відсотком використання потужності, і для усередненого двигуна без урахування його фактичного технічного стану.

ЛЕКЦІЯ № 8 СОБІВАРТІСТЬ ТРАНСПОРТНОЇ РОБОТИ

Собівартість – це сума витрат підприємства (або власника АТЗ) на роботу рухомого складу. Питома собівартість C_b – це собівартість одиниці транспортної роботи, коп./т км.

$$C_b = C_3 + C_{II} + C_{III} + C_{TOP} + C_A + C_H + C_D + C_E,$$

де C_3 – витрати на заробітну плату водіїв; C_{II} – витрати на паливо й мастильні матеріали; C_{III} – витрати на відновлення зношування й ремонт шин; C_{TOP} – витрати на технічне обслуговування й ремонт; C_A – амортизаційні відрахування; C_H – накладні витрати; C_D – дорожня складова; C_E – екологічна складова.

Місячна заробітна плата водіїв зараз звичайно призначається за домовленістю й становить у середньому $ЗП=3000...4000$ грн. У питомій собівартості витрати на заробітну плату водіїв, коп./т км

$$C_3 = \frac{100 \cdot ЗП}{L_M \cdot q \cdot \gamma \cdot \beta},$$

де L_M – пробіг автомобіля за місяць, км; q – вантажопідйомність автомобіля, т; γ – коефіцієнт використання вантажопідйомності; β – коефіцієнт використання пробігу.

Витрати на паливо й мастильні матеріали, коп./т·км:

$$C_T = 1,1Ц_{II}K_tK_h \left(\frac{H_O}{100q \cdot \gamma \cdot \beta} + \frac{H_D}{100} \right),$$

де $Ц_{II}$ – ціна 1 л палива, коп; 1,1 – коефіцієнт, що враховує витрати на мастильні матеріали й внутрішньогаражну витрату палива; H_O – основна норма витрати палива для порожнього автомобіля, л/100 км (те ж, що й H_S); H_D – додаткова норма на транспортну роботу (те ж, що й H_W); K_t і K_h – коефіцієнти, що враховують атмосферно-кліматичні умови:

$$K_t = 1 - 0,005t,$$

де t – температура навколишнього повітря зі знаком "+" або "-";

$$K_h = 1 + 0,067h, \quad \text{або} \quad K_h = \sqrt{P_0/P},$$

де h – висота над рівнем моря, км; P_0 і P – відповідно, нормальний і фактичний атмосферний тиск.

Основну норму приймають за діючими нормативами H_S або розраховують по матмоделі витрати палива, тільки замість повної ваги автомобіля G_a беруть вагу в спорядженому стані G_0 :

$$H_0 = H_S = \frac{1}{\eta_i} \left[A \cdot i_k + B \cdot i_k^2 \cdot V_a + C(G_0 \cdot \psi + 0,077 \cdot kF \cdot V_a^2) \right]$$

Додаткову норму приймають по діючих нормативах H_W або розраховують по формулі

$$H_D = H_W = 10^4 \cdot C \cdot \psi / \eta_i.$$

Витрати на відновлення зносу та ремонт шин, коп./т км:

$$C_{Ш} = 0,92 \cdot 10^2 \frac{Ц_{Ш} n_{Ш}}{l_{Ш} \cdot q \cdot \gamma \cdot \beta},$$

де $Ц_{Ш}$ – ціна однієї шини (комплекту), грн; $n_{Ш}$ – число однотипних комплектів шин (без запасних); $l_{Ш}$ – пробіг шин у даних дорожніх умовах, км; 0,92 – коефіцієнт, що враховує збільшення пробігу шин після ремонту на 25% і витрати на ремонт шин (з відновленням протектора), що складають близько 15% вартості нових шин ($1,15:1,25=0,92$).

Аналіз показує, що пробіг шин прямо пропорційний сумарній витраті палива Q_C : $l_{Ш} = 100Q_C / H_{П}$, де $H_{П}$ – витрата палива в л/100 км. Якщо ввести позначення $100Q_C = \Omega_{Ш}$, то

$$C_{Ш} = 0,92 \frac{Ц_{Ш} n_{Ш} H_{П}}{Q_C \cdot q \cdot \gamma \cdot \beta} = 92 \frac{Ц_{Ш} n_{Ш} H_{П}}{\Omega_{Ш} \cdot q \cdot \gamma \cdot \beta} \text{ коп./т км.}$$

Витрати на ТО й ремонт автомобілів, коп./т км:

$$C_{ТОР} = \frac{100}{q \cdot \gamma \cdot \beta} \left[\frac{C_{ЩО}}{l_{СД}} + \left(\frac{N_{ТО-1} C_{ТО-1} + N_{ТО-2} C_{ТО-2}}{L_P} + \frac{C_{ПР}}{1000} \right) K_D \right],$$

де $N_{ТО-1}$, $N_{ТО-2}$ – кількість ТО-1 і ТО-2, виконуваних протягом одного року; $C_{ЩО}$, $C_{ТО-1}$, $C_{ТО-2}$ – вартість одного ЩО, ТО-1 і ТО-2, грн, відповідно; $l_{СД}$, L_P – відповідно, середньодобовий пробіг і пробіг за рік; $C_{ПР}$ – питома вартість поточних ремонтів на 1000 км пробігу, грн; K_D – коефіцієнт, що враховує вплив дорожніх умов.

Коефіцієнт K_D визначають діленням витрати палива H_{n_2} у даних дорожніх умовах (n-на група) на витрату $H_{1Г}$ на дорозі першої групи. Наприклад, для ЗИЛ-431410 з вантажем при $H = 1461/V + 0,0021 \cdot V^2$

$$K_D = H_{n_2} / H_{1Г} \approx 44 / V_{n_2} + 6,3 \cdot 10^{-5} \cdot V_{n_2}^2.$$

Цей вираз отриманий за умови, що $V_{1Г} = 54$ км/год [1-а ГУЕ, $V = (1 \dots 0,8) 0,7 V_{max} = (1 \dots 0,8) 0,7 \cdot 90 = 63 \dots 50$]. Якщо в інших дорожніх умовах швидкість складала 25 км/год (5-а ГУЕ), то $K_D = 1,764$.

Амортизаційні відрахування – це кошти, які власник мусить відкласти й накопичувати, щоб мати можливість вчасно замінити автомобіль, який відслужив свій строк, або виконати капітальний ремонт. З 1.01.2004 норми амортизації для рухомого складу обчислюються на кожний календарний квартал і становлять 10% від балансової вартості, тобто різниці між ціною нового автомобіля й сумою амортизацій за весь минулий час експлуатації автомобіля. Питомі витрати на амортизаційні відрахування, коп./т км

$$C_A = \frac{0,1 \cdot C_H \cdot 0,9^{n-1}}{q \cdot \gamma \cdot \beta \cdot L_{кв}},$$

де n – число минулих кварталів, $L_{кв}$ – пробіг автомобіля за календарний квартал, км.

Річні амортизаційні відрахування по роках служби автомобіля

Рік	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
%%	34,39	22,56	14,80	9,71	6,37	4,18	2,74	1,80	1,18	0,77

Накладні витрати – це витрати, прямо не пов'язані з перевезеннями (зарплата адміністрації й господарського персоналу, витрати на ремонт і утримання будинків, опалення, електроенергію й т.д.). Для грубої оцінки можна вважати, що, чим більше розміри автомобілів, тим більша потрібна площа виробничих приміщень, тим вище накладні витрати:

$$C_H = K_H \frac{l_A \cdot b_A}{V_A \cdot q \cdot \gamma \cdot \beta},$$

де K_H – емпіричний коефіцієнт за 1 годину (для різних автомобілів 0,6...1,7 коп./м²); l , b – відповідно, довжина й ширина автомобіля (автопоїзда), м.

Дорожня складова враховується в ряді випадків. Вона визначається за ступенем зношування дорожнього покриття, який залежить від властивостей рухомого складу, у першу чергу, від осевого навантаження. У середньому дорожня складова коливається в межах 0,30...0,65 коп./т км і зростає зі збільшенням вантажопідйомності автомобіля.

Постановою Кабміну України від 1.03.99 установлені норми **збору за забруднення навколишнього середовища**. За етилований бензин і зріджений нафтовий газ норма збору $H_E=4$ грн за 1 т, за дизпаливо й неетилований бензин – 3 грн/т, за стиснутий природний газ – 2 грн/т. Коефіцієнти коригування: для міст із населенням більше 1 млн. чол. $K_{E1}=1,8$; для промислових і обласних центрів – $K_{E2}=1,25$, для курортних населених пунктів – $K_{E2}=1,65$. Так, для Харкова норма збору за 1 т неетилованого бензину: $3 \cdot 1,8 \cdot 1,25=6,75$ грн.

$$C_E = 10^{-3} \cdot \rho_T \cdot K_t \cdot K_h \left(\frac{H_O}{q \cdot \gamma \cdot \beta} + H_D \right) H_E K_{E1} K_{E2} \text{ коп. / т \cdot км.}$$

Наприклад, для ЗИЛ-431410 $C_E=0,05$ коп./т км. Це збільшує собівартість усього лише на 0,3...0,5%.

Аналізуючи модель собівартості, можна побачити, що C_B істотно залежить від досяжної середньої швидкості й має мінімум, який практично збігається з мінімумом витрати палива. Це дуже важливий висновок, що дає експлуататорам пряму вказівку на основний шлях зниження собівартості перевезень, тобто збільшення прибутків.

ЛЕКЦІЯ № 9 МЕТОДИКА НОРМУВАННЯ Й ПРОГНОЗУВАННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Рухомий склад автомобільного транспорту розрахований на визначений **ресурс**, тобто обсяг роботи (пробіг у км) або термін експлуатації у роках, установленний заводом-виготовлювачем. Власник АТЗ повинен знати ресурс, щоб розуміти, коли прийде час замінити основні агрегати, зробити капітальний ремонт або придбати новий АТЗ. Звичайно ці дані носять емпіричний характер, отже – досить орієнтовний. Але ж зазначені заходи означають великі одноразові витрати, які можуть істотно відбитися на прибутку АТП. Тому важливо як можна точніше знати строк, коли прийдеться ці витрати понести, щоб завчасно до них підготуватися.

В "Положенні-84" наведені норми пробігу рухомого складу до КР (табл. 2.3, 4.2) і викладена методика їхнього коригування залежно від умов експлуатації, модифікації рухомого складу й природно-кліматичних умов. Однак ми вже вказували на недосконалість класифікації умов роботи у "Положення-84". Діючий зараз в Україні аналогічний документ має ще більші недоліки.

Довговічність автомобіля і його агрегатів, їхній ресурс добре співвідносяться із сумарною витратою палива автомобілем. Фізичні основи цього зв'язку очевидні. Залишковий ресурс об'єкта у великій мірі визначається зносом його тертьових пар. Зношування – це процес усунення частини матеріалу з поверхні деталі при терті, воно відбувається зі споживанням енергії. Основне джерело енергії на автомобілі – паливо в баці. Чим більше роботи виконує автомобіль, тим більше знос і тим більша витрата палива. У різних умовах експлуатації фактична робота автомобіля, двигуна, шин тощо на одиницю транспортної роботи може дуже сильно коливатися. Відповідно буде коливатися й залишковий ресурс об'єкта. Для двигуна зв'язок між виконаною ним механічною роботою (i , отже, зносом) і витратою палива очевидний. Це пряма лінійна залежність. А от пробіг автомобіля в цьому сенсі – невдалий показник: чим важчі умови роботи, тим пробіг менше, а витрата палива й ресурсу більше. Для шин, на перший погляд, картина інша: пробіг шин дорівнює пробігу автомобіля. Однак у важких умовах шини передають набагато більші крутні моменти, а тому зношуються швидше. І тут зв'язок з витратою палива чіткіше, ніж із пробігом. Те ж саме можна сказати про трансмісію.

Виконані дослідження дозволяють уважати, що при роботі автомобіля в різних умовах добуток його пробігу до КР на питому витрату палива є величина постійна – константа:

$$L_{CP} Q_{CP} / 100 = L_1 K_D (H_S + H_W \cdot q \cdot \beta \cdot \gamma) / 100$$

де L_1 – пробіг до КР на дорозі 1 групи; K_D – коефіцієнт коригування пробігу автомобіля (для середніх умов 0,77).

Наприклад, для ЗИЛ-431410:

$$L_{CP} Q_{CP} / 100 = 350000 \cdot 0,77 (30,35 + 2,86 \cdot 0,75 \cdot 0,5) / 100 = 98600 \text{ л (73 т)}.$$

Ці 98 600 л і є сумарна витрата палива Q_C за весь пробіг автомобіля до капремонту. Отже, згадана константа $L_{CP} Q_{CP}=100Q_C$. У загальному вигляді, з урахуванням атмосферно-кліматичних умов, пробіг до КР у км:

$$L_{KP} = \frac{100 \cdot Q_C}{K_t \cdot K_h (H_S + H_W \cdot q \cdot \gamma \cdot \beta)}$$

Вище ми навчилися розраховувати витрату палива для різних дорожніх умов. Виходить, можна для цих умов обчислювати очікуваний пробіг до КР.

За розрахунками, сумарна витрата палива становить для КамАЗ-5320 – 65 000 л, КрАЗ-260 – 88 000 л, МАЗ-500 – 50 000 л.

Така розрахункова методика дає гарний збіг з результатами, отриманими емпіричним шляхом і наведеними, наприклад, у "Положенні-84" (див. табл. 12).

Отже, якщо правильно враховувати роботу автомобіля й витрату палива, завжди можна визначити спочатку залишковий ресурс по сумарній витраті палива, а потім, користуючись наведеною вище формулою, перерахувати його в пробіг у кілометрах для очікуваних умов роботи. Якщо рухомий склад АТП працює рік у рік у стабільних умовах на одних і тих же перевезеннях, розрахунок цей дуже простий: $L_{KP}=K Q_C$; наприклад, для ЗИЛ-431410 при $L_{KP}=350\,000$ і $Q_C=98\,600$ л значення $K=3,55$.

Аналогічно по витраті палива можна обчислити очікувані пробіги окремих агрегатів і елементів. Наприклад, очікуваний пробіг шин у даних умовах експлуатації $L_{Ш} \cdot H_{П}=100 \cdot Q_C$, де $H_{П}$ – норма витрати палива в л/100 км для цих умов.

Таблиця 12

**Зіставлення розрахункових даних
з нормативними за "Положенням-84" (на прикладі ЗИЛ-431410)**

ГУЕ	Н _Т , л/100 км (при $\beta=0,5$, $\gamma=0,75$)	L _{КР} , тис. км	Відносні коефіцієнти	
			За розрахунком	За "Положенням-84"
1	28,2 (1,000)	349,8	1,0	1,0
2	31,1 (1,103)	317,2	0,90	0,90
3	36,6 (1,298)	269,5	0,77	0,8...0,7
4	41,8 (1,482)	236,0	0,67	0,7...0,6
5	47,6 (1,688)	207,2	0,59	0,6...0,5

Скажімо, для радіальних шин з металокордом 260-508Р, застосовуваних на автомобілі ЗИЛ-431410, середній пробіг до заміни можна прийняти 90 тис. км. $L_{Ш} \cdot H_{П}=90 \cdot 10^3 \cdot 36,6=33 \cdot 10^5$, а відповідна сумарна витрата палива – 33 000 л. У тих же умовах пробіг автомобіля складе близько 270 000 км (тобто в 3 рази більше, ніж у шин), а сумарна витрата палива на цьому пробігу 98 600

л, тобто теж в 3 рази більше. Загальна формула пробігу шин у км із урахуванням умов експлуатації

$$L_{Ш} = \frac{33 \cdot 10^5 \cdot \eta_i}{0,85 \cdot i_k + 0,026 \cdot i_k^2 \cdot V_A + 0,0035 \cdot G_A \cdot \psi + 0,00065 \cdot V_A^2}$$

Таблиця 13

**Розрахунковий пробіг шин
у різних дорожніх і транспортних умовах**

ГУЕ	1	2	3	4	5
$L_{Ш}$, тис. км	117	106	90	79	69

Це досить добре погоджується з діючими нормами пробігу шин, установленними на підставі емпіричних даних: у них вказане зниження пробігу до 30% при роботі в особливо тяжких умовах і підвищення на 30% при роботі в особливо сприятливих умовах (відповідно $90 \cdot 1,3 = 117$; $90 \cdot 0,7 = 63$).

Таким же шляхом можна погодити із сумарною витратою палива періодичності технічних обслуговувань. Тут тільки треба враховувати, що в нормативах «Положення-84» періодичності ТО задаються для 1 категорії умов експлуатації, а норми витрати палива – для середніх умов.

$$Q_{CB} = 0,01 \cdot 0,77 \cdot l_{B1} \cdot Q_{CP},$$

де Q_{CB} – сумарна витрата палива на пробігу між впливами даного виду; l_{B1} – нормативний пробіг між впливами даного виду в 1 групі УЕ; Q_{CP} – витрата палива в л/100 км для середніх умов експлуатації (лінійна норма витрати палива за діючою методикою нормування).

* * *

Отже, ми переконалися, що виконувана автомобілем транспортна робота самим серйозним образом залежить від умов експлуатації. Розумна класифікація цих умов заснована на об'єктивному кількісному критерії – досяжній середній технічній швидкості, яку можна прямо виміряти для будь-якого маршруту, на будь-якому виді перевезень і в будь-який період. Зі швидкістю можна однозначно пов'язати всі основні показники роботи автомобіля – його продуктивність, собівартість перевезень, витрату палива, ресурс автомобіля і його частин, потребу в запасних частинах, викид шкідливих речовин. Ми вивчили досить прості формули, які дозволяють обчислювати всі ці показники і надійно прогнозувати їх на майбутні періоди роботи, тобто роблять планування й нормування роботи транспорту більш точним і реальним. На цій основі може й повинна будуватися робота організатора експлуатації транспортних засобів.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Основна

1. Говорущенко Н.Я., Туренко А. Н. Системотехника транспорту. Ч. 1 и 2. Харьков. РИО ХГАДТУ, 1998. – 255+219 с.
2. Говорущенко Н.Я., Туренко А.Н. Системотехника проектирования транспортных машин. Учебное пособие. – Изд. 3-е, испр. и доп. – Харьков: ХНАДУ, 2004. – 208 с., ил.
3. Краткий автомобильный справочник НИИАТ. 1994, 2004
4. Нормы расхода топлива для автомобилей, нормы ресурса шин и аккумуляторов / Сост. В. Кузнецов. – Х.: Фактор, 2009. – 528 с.

Додаткова

5. Говорущенко Н.Я. Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте. М., Транспорт. 1990
6. Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта. - М.: Транспорт, 1986.
7. Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта. Методические рекомендации – Харьков. РИО ХГАДТУ, 1998. – 40 с.