

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Павленко Олександр Володимирович

УДК 629.114.4 : 235.002.237

**ПОКРАЩЕННЯ ШВИДКІСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АВТОМОБІЛІВ
КрАЗ ЗА РАХУНОК ОПТИМІЗАЦІЇ ПЕРЕДАТОЧНИХ ЧИСЕЛ
ТРАНСМІСІЇ**

05.22.02 - "Автомобілі і трактори"

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ 2002

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Оптимізація конструктивних параметрів автомобіля є одним з найбільш важливих шляхів підвищення технічного рівня, продуктивності, економічності й ефективності використання автомобільного транспорту.

Трансмісія є елементом конструкції, параметри якої визначають техніко-економічні показники автомобіля. Одним з основних конструктивних параметрів трансмісії є ряд передаточних чисел. Ряд передаточних чисел механічної трансмісії значно впливає на показники тягово-швидкісних властивостей і паливної економічності автомобіля. При проектуванні автомобіля необхідно визначити передаточні числа трансмісії таким чином, щоб забезпечити необхідний рівень швидкісних властивостей в заданих умовах експлуатації при мінімальній витраті палива. Проте тільки в деяких роботах наводяться однозначні математичні залежності для визначення ряду передаточних чисел. У більшості випадків застосовувані методи визначення ряду передаточних чисел трансмісії не враховують конструктивні параметри автомобіля: розміри шин, параметри двигуна, його швидкісну зовнішню характеристику, тип дороги тощо. Частина цих параметрів враховується при визначенні передаточних чисел нижчого і вищого ступенів трансмісії. При визначенні передаточних чисел проміжних ступенів найбільше поширення одержав геометричний ряд або розбивка швидкісного діапазону за геометричною прогресією. Але поліпшити паливну економічність автомобіля, передаточні числа трансмісії якого отримані за геометричною прогресією, можна тільки зменшивши щільність передаточних чисел вищих ступенів і збільшивши щільність нижчих ступенів теж. Проте рекомендації щодо зміни щільності ряду в кожному конкретному випадку не наводяться, а подальший розрахунок здійснюється методом проб і помилок на основі досвіду й інтуїції розроблювача. Тому дуже важливим є застосування методів оптимізації передаточних чисел трансмісії, що дозволить скоротити число розрахункових варіантів та час на розробку нового автомобіля.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Робота пов'язана з виконанням "Програми розвитку автомобілебудування" із змінами і доповненнями, прийнятої Постановою Кабінету Міністрів України від 29.09.1998 р., протокол №34, у частині, що стосується ХК "АвтоКрАЗ" зі створення бортового автомобіля середньої вантажопідйомності колісної формули 4x4, призначеного для перевезення різноманітних вантажів і людей, буксирування транспортних і спеціальних причепів, а також літаків на аеродромах, що може експлуатуватися на всіх видах доріг, бездоріжжі і місцевості, та держбюджетної теми "Дослідження механіки та енергетики автомобілів і автопоїздів", що виконувалася у 1996...2000 р. р. кафедрою "Автомобілі" Національного транспортного університету.

Метою роботи є підвищення показників тягово-швидкісних властивостей і паливної економічності вантажного автомобіля з дизелем за рахунок оптимізації ряду передаточних чисел механічної трансмісії.

Для досягнення поставленої мети визначені такі **задачі**:

- провести аналіз існуючих методів визначення ряду передаточних чисел трансмісії та його впливу на показники тягово-швидкісних властивостей і паливної економічності автомобіля;
- розробити методику для підвищення точності апроксимації кривої крутного моменту дизеля;
- розробити математичну модель для відтворення на ПЕОМ дорожніх випробувань автомобіля, зокрема тягово-швидкісних властивостей і паливної економічності;
- розробити методику визначення оптимального ряду передаточних чисел трансмісії автомобіля на основі методів варіаційного числення;
- експериментально перевірити достовірність розробленої математичної моделі з оцінкою впливу передаточних чисел трансмісії на показники тягово-швидкісних властивостей і паливної економічності автомобіля;
- розробити рекомендації щодо впровадження оптимального ряду передаточних чисел трансмісії для автомобілів КрАЗ.

Об'єктом досліджень є система, що включає дизель і механічну ступеневу трансмісію вантажних автомобілів КрАЗ.

Предметом досліджень є ряди передаточних чисел трансмісії автомобіля, що визначають собою показники тягово-швидкісних властивостей і паливної економічності автомобілів у різних умовах експлуатації.

Методи досліджень передбачають математичне моделювання усталеного та неусталеного рухів для відтворення на ПЕОМ дорожніх випробувань автомобіля, багатоваріантні розрахунки показників тягово-швидкісних властивостей і паливної економічності автомобілів із стандартною та модернізованою трансмісіями і експериментальне визначення цих показників.

Наукова новизна роботи:

- обґрунтовані показники тягово-швидкісних властивостей і паливної економічності автомобіля та розроблена математична модель для їх визначення на основі розв'язку нелінійного диференціального рівняння руху автомобіля;
- на основі методів варіаційного числення проведена оптимізація ряду передаточних чисел трансмісії автомобіля та визначені показники його техніко-експлуатаційних властивостей в заданих умовах експлуатації.

Практичну цінність результатів досліджень складають:

- оптимальний ряд передаточних чисел трансмісії, за допомогою якого показано, що одним із шляхів підвищення показників тягово-швидкісних властивостей і паливної економічності вантажних автомобілів є встановлення в їх трансмісіях коробок передач, передаточні числа яких підібрані таким чином, що забезпечуються необхідні показники як розгону, так і паливної економічності;
- методика апроксимації кривої крутного моменту двигуна для визначення показників тягово-швидкісних властивостей і паливної економічності автомобілів КрАЗ.

Особистий внесок здобувача. Основні розв'язки, результати, висновки та рекомендації, що наведені у дисертаційній роботі, отримані автором

самостійно. В опублікованих за результатами досліджень роботах дисертанту належать: [3] – проаналізовані існуючі методи оптимізації передаточних чисел трансмісії вантажних автомобілів КрАЗ і показано, що для сидельних тягачів оптимізацію слід здійснювати, а для самоскидів - за умови мінімальної витрати палива і мінімального шляху розгону; [4] – проаналізовані різні закони розбивки швидкісного діапазону автомобіля, зокрема арифметричної прогресії, геометричної прогресії та гармонічного ряду і показано, що найбільш прийнятним для автомобілів КрАЗ є геометричний ряд розбивки швидкісного діапазону автомобіля. У цьому випадку забезпечується стійка робота двигуна при всіх переключеннях передач.

Апробація роботи. Основні положення дисертації доповідалися на науково-технічній конференції молодих учених і спеціалістів Кременчуцького державного політехнічного інституту (КДПІ) у 1997, 1999 р. р., на науково-технічній конференції Кременчуцького державного політехнічного університету у 2000 р., на науково-технічній конференції Харківського національного державного автомобільно-дорожнього університету у 2001 р., на конференції професорсько викладацького складу Національного транспортного університету (2002 р).

Публікації. Матеріали дисертаційної роботи висвітлені в 5 статтях у фахових виданнях.

Структура дисертації. Дисертація складається із вступу, 4-х розділів, висновків, списку використаних джерел, який налічує 110 найменувань. Повний об'єм дисертації становить 143 сторінки, з них 132 сторінки основного тексту, 22 рисунків, 33 таблиць, список використаних джерел на 10 сторінках, додаток на 1 сторінці.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ

У вступі обґрунтовується актуальність теми, формулюється мета та задачі досліджень.

Перший розділ присвячено аналізу методів визначення та оптимізації рядів передаточних чисел механічної ступеневої трансмісії автомобіля. Розглянуті методи розрахунку швидкісних параметрів автомобіля на етапі тягового розрахунку. Розглянуті та проаналізовані існуючі закони для визначення передаточних чисел трансмісії автомобіля. Показано, що передаточні відношення всіх передач розташовуються у зоні, окресленій кривими 1 – гармонічний ряд і 2 – геометричний ряд (рис.1).

Проведено аналіз перспектив покращення показників швидкісних властивостей та паливної економічності вантажних автомобілів винятково за рахунок зміни закону побудови ряду передаточних чисел трансмісії на прикладі експериментального зразка автомобіля КрАЗ 5131 ВЕ. Розрахунки доводять, що показники швидкісних властивостей і витрати палива можуть бути зменшені в межах: час розгону автомобіля до 20%, шлях розгону до 15%; витрата палива в

міжміському та міському їздових циклах до 9% та 14% відповідно. Ця обставина робить доцільним розробку методики оптимізації ряду передаточних

чисел трансмісії.

Рис. 1. Відносне положення рядів передаточних чисел, що визначені за різними методиками.

Другий розділ присвячено розробці математичної моделі усталеного та неусталеного рухів для відтворення на ПЕОМ дорожніх випробувань автомобіля відповідно до ГОСТ 22576-90 (швидкісні властивості) та ГОСТ 20306-90 (паливна економічність). Оскільки визначення вищенаведених показників виконується згідно із вимогами стандартів, прийняті такі допущення: дорожні умови представлені горизонтальною, прямою дорогою із асфальтобетонним покриттям; розгін автомобіля при виконанні магістрального і міського їздових циклів і при визначенні параметрів швидкісних властивостей виконується при повній подачі палива, що відповідає роботі двигуна в режимі зовнішньої швидкісної характеристики; переключення передач виконуються відповідно до вимог стандартів; при імітації дорожніх випробувань агрегати і механізми трансмісії (додатковий ведучий міст, коробка відбору потужності тощо), що не застосовуються під час руху автомобіля по дорозі з удосконаленим покриттям, повинні бути виключені; за наявності демультиплікатора повинна бути включена його підвищуюча передача.

Для розрахунку показників тягово-швидкісних властивостей автомобіля за існуючими методиками застосовують аналітичну залежність крутного моменту від кутової швидкості колінчастого вала двигуна. Для апроксимації кривої крутного моменту двигуна використовують функцію другого степеня

,

де a - постійні коефіцієнти, що отримують шляхом математичної обробки даних експериментальних досліджень.

Для визначення точності апроксимації крутного моменту двигуна, що працює в режимі швидкісної зовнішньої характеристики, функцією другого степеня були визначені похибки апроксимації моменту двигунів ЯМЗ і MAN, що можуть встановлюватися на автомобілі КрАЗ. Результати проведених досліджень показали, що відносна похибка апроксимації для модифікацій двигунів ЯМЗ знаходиться в межах від 1,41% до 22,59%. Ще більшого значення похибка досягає для двигунів фірми MAN. Так, для двигуна MAN D 2658 M2 відносна похибка апроксимації досягає 27,87%. При цьому варто врахувати, що функція другого степеня не може описати ділянки кривої зі сталими по частоті обертання значеннями крутного моменту двигуна, що характерно для двигунів іноземного виробництва.

Щоб врахувати в розрахунках особливості кривої крутного моменту двигуна і підвищити точність розрахунків, як апроксимуючі функції були обрані поліноми від 2 до 6 степеня. Результати проведених розрахунків показали:

- поліном третього степеня значно зменшує похибку апроксимації кривої крутного моменту двигуна порівняно з поліномом другого степеня. Проте в окремих випадках похибка апроксимації може перевищити 5% (двигуни MAN D 2658 M2 - 7,24% і ЯМЗ 238 ПМ - 9,3%).

- максимальна похибка апроксимації кривої крутного моменту поліномом четвертого степеня тільки для двигуна MAN D 2658 M2 складає 3,08%, у всіх інших випадках вона не перевищує 1,04% (рис. 2).

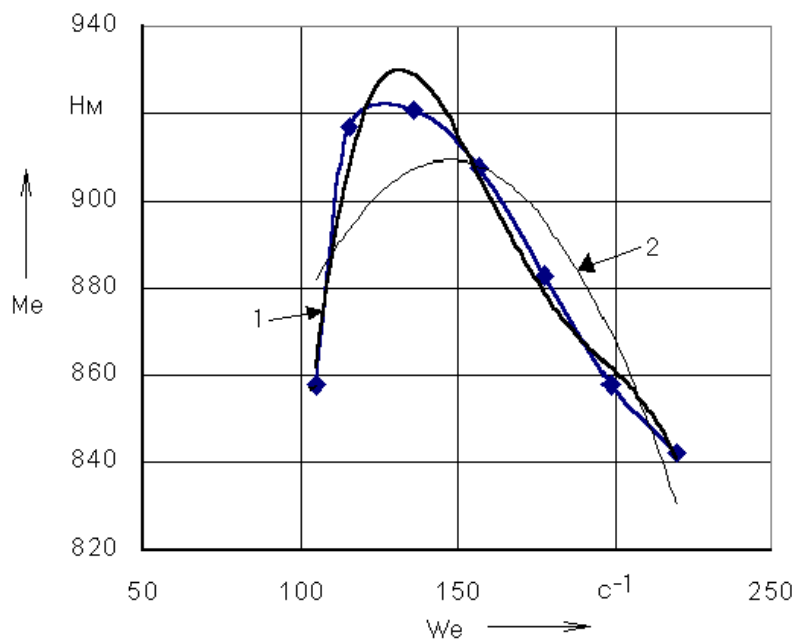


Рис. 2. Апроксимація кривої крутного двигуна MAN D 2658 M2 поліномами четвертого і другого степеня:

■ - експериментальні точки кривої крутного моменту двигуна, що працює в режимі зовнішньої швидкісної характеристики;

1 - функція четвертого степеня;

2 - функція другого степеня.

-збільшення степеня апроксимуючого полінома до п'яти або шести призводить до подальшого зменшення похибки приблизно від 1,04% до 0,1%. Проте за такої апроксимації інтегрування диференціального рівняння руху стає майже неможливим. Звідси найбільш доцільним є застосування полінома четвертого степеня для апроксимації кривої крутного моменту всіх двигунів, що розглядаються, тобто

де a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 - коефіцієнти апроксимуючого полінома, які визначаються опрацюванням експериментальної кривої крутного моменту двигуна методом найменших квадратів за умови, що двигун працює в режимі зовнішньої швидкісної характеристики.

Як відомо, диференціальне рівняння руху автомобіля записується для випадку, що потужність і крутний момент на ведучих колесах визначені. При цьому залишається невідомими величини потужності й крутного моменту, що витрачаються на привід допоміжних агрегатів. Тому диференціальне рівняння доповнене такими споживачами потужності двигуна як компресор, генератор та насос гідравлічного підсилювача рульового управління і записане як

де m – повна маса автомобіля, кг; I_K, I_M – момент інерції всіх коліс автомобіля

та момент інерції маховика, кгм^2 ; h – висота центра мас та парусності

відповідно, м; η_{tr} – коефіцієнт корисної дії трансмісії, η – коефіцієнт, що враховує зміну коефіцієнта опору кочення f_0 при збільшенні швидкості руху, F – лобова площа автомобіля, м^2 ; k_ϕ – коефіцієнт обтічності, $\text{Нс}^2/\text{м}^4$;

a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 – коефіцієнти апроксимуючого полінома, i – передаточне

число трансмісії автомобіля, r – радіус динамічний коліс автомобіля, м; V – швидкість руху автомобіля, м/с; C_m – постійна електричної машини (

генератора), I - струм у бортовій мережі автомобіля, А; U - напруга у бортовій мережі, В; h_{MG} , h_{PG} - механічний ККД генератора і ККД приводу генератора, U_{PG} - передаточне число приводу генератора, P - тиск у напірній магістралі, Па; V_{hH} - робочий об'єм насоса, м³; U_{PH} - передаточне число приводу насоса від колінчатого вала, h_{MH} , h_{PH} - ККД механічний приводу і повний насоса відповідно, $K_{комп}$ – постійна, яка враховує конструкцію компресора та регулятора тиску.

Диференціальне рівняння руху автомобіля у загальному вигляді записано як

де

Отримане диференціальне рівняння є нелінійним диференціальним рівнянням другого порядку, містить складові, що нелінійно залежать від аргументу. Це диференціальне рівняння проінтегроване методом розкладання підінтегрального виразу на суму найпростіших дробів, що дало можливість визначити такі показники швидкісних властивостей автомобіля, як час розгону на заданому шляху і час розгону до заданої швидкості, та побудувати такі швидкісні характеристики, як “Розгін - вибіг” та “Розгін на передачі, що забезпечує максимальну швидкість”.

Оскільки відповідно до вимог за ГОСТ 20306-90 розгін повинен проводитись з повною подачею палива в двигун, то витрату палива автомобілем визначаємо як добуток секундної витрати палива двигуном на час розгону від V_1 до V_2 . Це дає можливість визначити витрату палива при русі автомобіля, як із повною, так і частковою подачею палива. Застосування диференціального рівняння і залежностей для визначення витрати палива двигуном дозволяє визначати такі показники і характеристики паливної

економічності, як контрольну витрату палива, витрату палива в магістральному їздовому циклі, витрату палива в міському їздовому циклі та паливну характеристику усталеного руху.

Аналіз отриманих залежностей показує, що секундна витрата палива пропорційна першому степеню передаточного числа трансмісії і обернено пропорційна навантаженню на двигун.

Залежність часу і шляху розгону від передаточного числа трансмісії має складний характер, розв'язати отримані залежності часу і шляху розгону щодо передаточного числа трансмісії не є можливим. Проаналізувати вплив ряду передаточних чисел трансмісії на ці параметри можна, тільки провівши порівняльні розрахунки часу і шляху розгону автомобіля з трансмісією, передаточні числа якої визначені за різними законами.

У третьому розділі розроблена методика оптимізації ряду передаточних чисел трансмісії автомобілів КрАЗ. Для оптимізації передаточних чисел трансмісії були застосовані методи варіаційного числення в додатку до інтегралів. Варіаційне числення забезпечує знаходження екстремума величини, яка залежить від n незалежних функцій $x_1(t)$, $x_2(t)$..., $x_n(t)$.

Оптимізація передаточних чисел трансмісії була проведена в трьох напрямках:

1. Визначення передаточних чисел трансмісії за умови забезпечення мінімальної витрати палива при розгоні;
2. Визначення передаточних чисел трансмісії за умови забезпечення мінімального часу розгону автомобіля;
3. Визначення передаточних чисел трансмісії за умови забезпечення мінімального шляху розгону автомобіля.

Для оптимізації передаточних чисел трансмісії за першим напрямком визначена залежність витрати палива при розгоні від конструктивних параметрів автомобіля.

Витрата палива автомобіля при розгоні визначається за формулою

$$G_m = \frac{Q}{t_p} \quad (1)$$

де G_m - секундна витрата палива, кг/с; t_p - час розгону, с.

Оскільки секундна витрата палива та час розгону залежать від швидкості руху та опору руху, то функціонал інтегралу витрати палива Q залежить від швидкості руху автомобіля V , який, в свою чергу, можна розглядати як функцію передаточних чисел трансмісії.

Виходячи з цього, задачу оптимізації передаточних чисел трансмісії можна сформулювати так: необхідно знайти таку функцію $U(V)$, за якої витрата палива при розгоні автомобіля при заданих його конструктивних параметрах (повна маса, габаритні розміри, шини, двигун) досягає свого мінімального значення. Оскільки моделювання руху автомобіля для визначення параметрів паливної економічності проводиться шляхом імітації дорожніх

випробувань за ГОСТ 20306-90, необхідно задати відповідний коефіцієнт опору коченню і параметри, що визначають силу опору повітря та ККД трансмісії автомобіля.

Для оптимізації передаточних чисел трансмісії за другим і третім напрямками скористаємося отриманими рівняннями для визначення часу і шляху розгону

$$, \quad (2)$$

$$(3)$$

Функціонали 1,2 і 3 належать до окремого важливого випадку, коли в підінтегральній функції відсутні похідні. Тому рівняння Ейлера-Лагранжа зводяться до таких окремих виразів

$$. \quad (4)$$

Ці рівняння формально забезпечують необхідні умови мінімуму підінтегральної функції за кожного значення t , тобто вони визначають послідовність функцій $x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)$ в інтервалі змінних від t_1 до t_2 , які й є рішенням вихідної варіаційної задачі.

Виходячи з того, що в усіх трьох напрямках оптимізації відшукується вид функції $U(V)$, яка доставляє мінімум інтегралу витрати палива, її отримують з рішення одного рівняння виду (4), тобто

$$,$$

де - підінтегральна функція.

З рівняння (1) отримаємо часткову похідну від функціоналу за передаточним числом U .

$$, \quad (5)$$

де

,

.

За умови, що рівняння (5) прирівнюється до нуля, після скорочення отримаємо

(6)

Аналогічно за другим напрямом знаходиться функція $U(V)$, яка доставляє мінімум інтегралу часу розгону автомобіля. З рівняння (2) отримаємо часткову похідну за передаточним числом від функціоналу часу розгону.

(7)

Аналогічно з рівняння (3) отримаємо часткову похідну за передаточним числом від функціоналу шляху розгону. Після перетворень отримаємо таке рівняння

(8)

Рівняння (6), (7), (8) у своєму складі мають одночасно дві невідомі – передаточне відношення трансмісії і швидкість руху автомобіля. Вирішити їх відносно змінної U , в аналітичному виді, неможливо. Тому задаючись значеннями передаточних чисел U , з цих рівнянь знаходимо відповідні їм значення швидкості V . Отримані результати апроксимуємо степеневою функцією. Для цього швидкісний діапазон автомобіля розбиваємо за відомими закономірностями – арифметичної, геометричної прогресій, гармонічного ряду тощо. За відомими значеннями швидкостей визначаються відповідні значення передаточних чисел трансмісії. Остаточний варіант значень передаточних чисел трансмісії вибирається після аналізу результатів розрахунків параметрів паливної економічності й тягово-швидкісних властивостей автомобіля.

Для підтвердження достовірності методу, що пропонується, була проведена оптимізація передаточних чисел трансмісій автомобілів КрАЗ- 65055 , КрАЗ-260, КрАЗ-6505, КрАЗ-5131 ВЕ, МАЗ-6422 і МАЗ-5433 за умови, що передаточні числа нижчої і вищої передач і число передач відповідають

значенням серійних автомобілів, табл. 2.

За визначеними передаточними числами проведені розрахунки показників швидкісних властивостей (час розгону та довжина шляху розгону) та паливної економічності (витрати палива в міжміському та міському їздових циклах) залежно від напрямку оптимізації для всіх вище названих автомобілів. Результати розрахунків аналізувалися відносно існуючих автомобілів.

Аналіз розрахунків показав:

- з розглянутих варіантів оптимальним є геометричний ряд розбивки швидкісного діапазону автомобіля, бо в цьому випадку забезпечується стійка робота двигуна при всіх переключеннях передач; розбивка швидкісного діапазону автомобіля за законом арифметичної прогресії і гармонічного ряду є неприйнятною в усіх випадках, оскільки не забезпечує стійкої роботи двигуна відповідно при переключенні передач з першої на другу та з сьомої на восьму;

Таблиця 2

Розрахункові залежності передаточних чисел трансмісії від швидкості руху автомобілів, що отримані за різними умовами оптимізації

Автомобіль	Передаточні числа трансмісії, що отримані		
	за умови мінімальної витрати палива	За умови мінімального часу розгону	за умови мінімального шляху розгону
КрАЗ 65055			
КрАЗ 260			
КрАЗ 6505			
МАЗ 6422			
МАЗ 5432			
КрАЗ 5131 ВЕ			

- оптимізації передаточних чисел трансмісії за мінімальною витратою палива при розгоні дозволяє зменшити витрату палива в магістральному їздовому циклі на 0,55 % .. 8,27 %, у міському їздовому циклі на 1,3%....8,08 % в залежності від призначення автомобіля; оптимізація передаточних чисел трансмісії за мінімальним часом і шляхом розгону дозволила зменшити їх відповідно на 1,87% і 17,78% та 1,42% і 17,58%.

- для оптимізації передаточних чисел трансмісії автомобілів високої прохідності краще застосовувати критерії мінімальної витрати палива та шляху розгону;

- для оптимізації передаточних чисел трансмісії самоскидів загально-господарського призначення за їх роботи на дорогах з удосконаленням

покриттям краще застосовувати критерії мінімальної витрати палива і часу розгону;

- для оптимізації передаточних чисел трансмісії сідельних тягачів, призначених для експлуатації по дорогах 1-ої і 2-ої технічних категорії краще застосовувати критерій мінімальної витрати палива.

У четвертому розділі наведені результати дорожніх випробувань експериментального автомобіля КрАЗ 5131 ВЕ.

Мета експериментальних випробувань полягала у перевірці адекватності розробленої математичної моделі для визначення впливу передаточних чисел трансмісії на показники швидкісних властивостей і паливної економічності автомобіля і застосування розробленої моделі для оптимізації передаточних чисел трансмісії.

Задачами експериментальних досліджень було визначення контрольної витрати палива, витрати палива автомобіля при русі в магістральному їздовому циклі (МгІЦ), витрати палива автомобіля при русі в міському їздовому циклі (МІЦ) на дорозі, часу розгону автомобіля до заданої швидкості для автомобілів зі стандартною та модернізованою трансмісією.

При проведенні дорожніх випробувань реєструвалися такі параметри: час, шлях і швидкість руху автомобіля, витрата палива, температура повітря, атмосферний тиск, відносна вологість повітря.

Для заміру параметрів руху застосовувався вимірювальний комплекс CORREVIT EEP-2-L,Q,H виробництва фірми DATRON (ФРН).

Проведеними експериментальними дослідженнями доведена адекватність розробленої математичної моделі для відтворення на ПЕОМ дорожніх випробувань автомобіля що до визначення впливу передаточних чисел трансмісії автомобіля на показники його швидкісних властивостей і паливної економічності. Максимальна похибка у визначенні показників швидкісних властивостей і паливної економічності для автомобіля КрАЗ-5131 ВЕ як із стандартною, так і дослідною трансмісією, не перевищила:

при визначенні контрольної витрати палива 5,84% для автомобіля 1 і 5, 51% - для автомобіля 2;

при визначенні витрати палива у магістральному їздовому циклі - 5,35% для автомобіля 1 і 5,38% - для автомобіля 2;

при визначенні витрати палива у міському їздовому циклі - 8,74% для автомобіля 1 і 9,26% - для автомобіля 2;

при визначенні часу розгону до швидкості 60 км/год 5,55% для автомобіля 1 і 5,24% - для автомобіля 2.

Показники паливної економічності в усталеному русі автомобіля КрАЗ-5131 ВЕ як із стандартною, так і модернізованою трансмісією майже співпадають між собою, оскільки передаточні відношення вищих передач коробок передач однакові. Максимальна похибка у визначенні витрати палива в усталеному русі не перевищила 9,06% при швидкості 70 км/год.

Співставлення розрахункових і експериментальних показників витрати палива у міському та магістральному їздовому циклах автомобілів КрАЗ-65055, КрАЗ-260, КрАЗ-6505, МАЗ-6422 і МАЗ-5432 також підтвердило адекватність

розробленої математичної моделі. Максимальна похибка у визначенні витрати палива не перевищила 9,26% (у міському їздовому циклі) й 3% - при визначенні часу розгону.

Точність отриманої математичної моделі дозволяє використовувати її для оцінки впливу конструктивних параметрів, у тому числі й рядів передаточних чисел трансмісії, на швидкісні властивості та паливну економічність проектного автомобіля і прогнозування витрати палива в експлуатації.

ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Практика світового автомобілебудування свідчить про те, що подальший розвиток будь-якого виробництва пов'язаний з освоєнням і випуском автомобілів різного призначення, які відрізняються між собою не тільки конструкцією кузова (кабіни), а і типом, і літражем його двигуна, передаточними відношеннями трансмісії, конструкцією підвіски, гальмівної системи, других вузлів і систем. Це стосується і Кременчуцького заводу, в типаж автомобілів якого входить автомобіль-самоскид, сідловий тягач, повноприводний автомобіль високої прохідності, автомобілі колісних схем 4x2, 4x4, 6x4, 6x6 із різними типами двигунів. Проте, як показали проведені раніше дослідження, передаточні відношення коробок передач автомобілів КрАЗ навіть з двигуном ЯМЗ-238 не є оптимальними, а із розширенням функціональних можливостей автомобіля і обладнання його різними типами двигунів ця проблема ще більш ускладнюється.

2. Встановлено, що підвищити точність визначення показників тягово-швидкісних властивостей і паливної економічності автомобіля можна, якщо врахувати в розрахунках особливості кривої крутного моменту двигуна і точність апроксимації цієї кривої. Так, при апроксимації кривої крутного моменту поліном третього степеня значно зменшується похибка порівняно з поліномом другого степеня. Проте в окремих випадках похибка апроксимації може перевищити 5% (двигуни MAN D 2658 M2 - 7,24% і ЯМЗ 238 ПМ - 9,3%). При апроксимації кривої крутного моменту поліномом четвертого степеня тільки для двигуна MAN D 2658 M2 ця похибка складає 3,08%, в усіх інших випадках вона не перевищує 1,04%. Це дало підставу використовувати у всіх подальших розрахунках поліном четвертого степеня. Що дозволило зменшити похибку розрахунків показників швидкісних властивостей до 3 - 5,34%.

3. Розроблена методика визначення передаточних чисел трансмісії вантажних автомобілів КрАЗ різного призначення. За допомогою розробленої методики показано, що одним із шляхів підвищення показників тягово-швидкісних властивостей і паливної економічності автомобілів із різними типами двигунів є встановлення в їх трансмісіях коробок передач, передаточні числа яких підібрані таким чином, що одночасно забезпечуються необхідні показники як паливної економічності, так і часу або шляху розгону залежно від типу і призначення автомобіля.

4. За розробленою методикою проаналізовані ряди передаточних чисел автомобілів МАЗ та КрАЗ. Найближчим до оптимального за критерієм мінімальної витрати палива є ряди передаточних чисел автомобілів МАЗ-6422 (максимальне відхилення дійсного передаточного числа від оптимального на 5-ій передачі $\Delta U_{k5}=2,36\%$) і МАЗ-5432 ($\Delta U_{k4}=1,28\%$). Найгіршими за цим критерієм є ряди передаточних чисел автомобілів КрАЗ-260 ($\Delta U_{k5}=8,16\%$) і КрАЗ-5131 ВЕ ($\Delta U_{k5}=7,57\%$).

У тісному взаємозв'язку із вказаними відхиленнями знаходиться і витрата палива автомобілями у їздових циклах. Так мінімальне зменшення витрати палива у магістральному їздовому циклі складає тільки $\Delta Q_{\text{мііц}}=0,55\%$, а максимальне 8,27%; у міському їздовому циклі відповідно 1,30% і 8,08% залежно від призначення автомобіля.

6. Найближчим до оптимального за критерієм мінімального часу розгону до швидкості 60 км/год є ряди передаточних чисел автомобілів МАЗ-6422 (максимальне відхилення дійсного передаточного числа від оптимального на 5-ій передачі $\Delta U_{k5}=1,87\%$) і КрАЗ-6505 ($\Delta U_{k6}=5,89\%$). Дещо більшим є відхилення для автомобіля МАЗ-5432 ($\Delta U_{k7}=8,58\%$) і значно більшим для автомобілів Кременчуцького заводу – КрАЗ-5131 ВЕ - $\Delta U_{k7}=24,26\%$, КрАЗ-260 - $\Delta U_{k7}=15,21\%$ і КрАЗ-65055 - $\Delta U_{k7}=17,89\%$. Виходячи із цього, закономірним є найбільш суттєве зменшення часу розгону для автомобілів КрАЗ-260 ($\Delta T=15,97\%$) і КрАЗ-5131 ВЕ ($\Delta T=14,72\%$), а найменш суттєвим для автомобіля МАЗ-6422 ($\Delta T=1,37\%$).

7. На автомобілях МАЗ-6422, МАЗ-5432, КрАЗ-6505, КрАЗ-65055, КрАЗ-260 встановлена одна і та ж коробка передач, з одними і тими самими передаточними відношеннями на всіх передачах. Зміна передаточного відношення трансмісії досягається за рахунок передаточного відношення головної передачі. Виходячи з цього, найбільш вдалим є ряди передаточних чисел трансмісії сідлових тягачів МАЗ-6422 і МАЗ-5432. Дещо гіршими, але ще прийнятними, є ряди передаточних чисел автомобілів-самоскидів КрАЗ-6505 і КрАЗ-65055 і найбільш невдалим є ряди передаточних чисел автомобілів високої прохідності КрАЗ-260 і КрАЗ-5131 ВЕ.

8. Співставленням результатів експериментальних досліджень і розрахунків за різними математичними моделями доведено, що диференціальне рівняння руху, рівняння витрати палива і математичну модель неусталеного руху доцільно використовувати при визначенні показників тягово-швидкісних властивостей і паливної економічності автомобілів як на міських маршрутах, так і у позаміських умовах.

9. Проведеними експериментальними дослідженнями доведена адекватність розробленої математичної моделі для відтворення на ПЕОМ дорожніх випробувань автомобіля за визначенням впливу передаточних чисел трансмісії автомобіля на показники його швидкісних властивостей і паливної економічності, а також доцільність модернізації трансмісії вантажних автомобілів КрАЗ різного призначення шляхом використання для них коробок передач з оптимальними передаточними числами згідно з наведеними у

дисертації рекомендаціями.

10. Результати досліджень впливу передаточних чисел трансмісії на показники тягово-швидкісних властивостей та паливної економічності, а також методика визначення оптимальних передаточних чисел трансмісії автомобіля прийняті до впровадження Кременчуцьким автомобільним заводом для створюваного ряду автомобілів різного призначення.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Павленко А.В. Аналитический способ определения характеристик приемистости автомобиля// Проблемы создания новых машин и технологий/ научные труды Кременчугского государственного политехнического института . 1999 г. - Выпуск 1. - С. 283 - 286.

2. Павленко А.В. Метод определения ряда передаточных чисел трансмиссии на ранних этапах проектирования// Сборник научных трудов ХНАДУ. - 2001г. - Выпуск 7 - 8. - С. 100 - 102.

3. Сахно В.П., Сирота В.І., Павленко О.В. Вплив ряду передаточних чисел трансмісії на показники швидкісних властивостей і паливної економічності вантажних // Системні методи керування, технологія та організація виробництва, ремонту і експлуатації автомобілів. Збірник наукових праць. - Київ, НТУ, ТАУ. - 2002. - Випуск 13. –С. 183 - 188.

4. Сахно В.П., Павленко А.В., Горбаха М.М. Аналіз ефективності оптимізації передаточних чисел трансмісії автомобілів КрАЗ за різними критеріями оптимальності //Автошляховик України. Окремий випуск. Вісник ЦНЦ ТАУ. –2002. - №5. - С. 73-76.

5. Павленко А.В. Перспективы улучшения скоростных свойств и топливной экономичности автомобилей КрАЗ // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. Наукові праці КДПУ. Вип. 3(14). – Кременчук, КДПУ. – 2002. –С. 105 – 107.

Павленко О.В. Покращення швидкісних властивостей автомобілів КрАЗ за рахунок оптимізації передаточних чисел трансмісії. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.02 – Автомобілі та трактори. – Національний транспортний університет, Київ, 2002 р.

Дисертацію присвячено вибору оптимального ряду передаточних чисел механічної ступеневої трансмісії вантажних автомобілів КрАЗ різного призначення з метою покращення їх швидкісних властивостей та паливної економічності.

Підвищена точність розрахунку часу та шляху розгону автомобіля за рахунок використання функції четвертого степеня для апроксимації кривої крутного моменту за зовнішньою швидкісною характеристикою двигуна, а

також завдяки урахуванню в диференціальному рівнянні руху автомобіля таких споживачів потужності двигуна як генератор, компресор та насос гідравлічного підсилювача рульового управління.

За допомогою розробленої математичної моделі, адекватність якої підтверджена експериментальним шляхом, визначений кількісний вплив ряду передаточних чисел трансмісії на швидкісні властивості та витрату палива в їздових циклах, які визначаються згідно відповідних стандартів.

Розроблена методика визначення оптимального ряду передаточних чисел трансмісії вантажних автомобілів КрАЗ на основі варіаційного числення у додатку до інтегралів. Оптимізований ряд передаточних чисел трансмісії дозволяє досягти компромісу між швидкісними властивостями та паливною економічністю. Розроблені рекомендації щодо використання різних критеріїв оптимальності при проектуванні трансмісії автомобілів різного призначення.

Ключові слова: вантажний автомобіль, швидкісні властивості, паливна економічність, трансмісія, ряд передаточних чисел, оптимізація, диференціальне рівняння.

Павленко А.В. Улучшение скоростных свойств автомобилей КрАЗ за счет оптимизации передаточных чисел трансмиссии. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.02 – Автомобили и тракторы. – Национальный транспортный университет, Киев, 2002 г.

Диссертация посвящена выбору оптимального ряда передаточных чисел механической ступенчатой трансмиссии грузовых автомобилей КрАЗ различного назначения с целью улучшения их скоростных свойств и топливной экономичности.

Анализ влияния законов построения ряда передаточных чисел трансмиссии на показатели скоростных свойств и топливной экономичности автомобилей КрАЗ показал, что изменение времени разгона до заданной скорости составляет до 47,53%, изменение расхода топлива в магистральном ездовом цикле составило 8,75 % и в городском ездовом цикле - 13,23% соответственно. Это делает целесообразным проведение оптимизации ряда передаточных чисел трансмиссии автомобилей КрАЗ.

Расчетный анализ показал, существующие методы расчета показателей скоростных свойств не всегда обеспечивают достаточную точность. Одной из причин недостаточной точности расчетов является применение функции второй степени для аппроксимации кривой крутящего момента по внешней скоростной характеристике. Функция второй степени не отражает особенностей кривой крутящего момента дизельного двигателя, например наличие участка кривой, на котором крутящий момент сохраняет постоянное значение. С повышением степени аппроксимирующей функции повышается точность аппроксимации. Погрешность аппроксимации кривой крутящего момента функцией второй степени составляет от 1,2 до 27,87 %. Применение функции четвертой степени уменьшает погрешность аппроксимации до значений 0,12...3,08 %. Поэтому полученное нелинейное дифференциальное уравнение прямолинейного

движения автомобиля содержит в себе нелинейности четвертой степени. Также полученное дифференциальное уравнение учитывает такие потребители мощности двигателя как генератор, компрессор и насос гидравлического усилителя рулевого управления. Это позволило увеличить точность расчетов показателей скоростных свойств автомобиля и его топливной экономичности. Так погрешность расчета времени разгона разных автомобилей составило 1, 4...5,84 %.

Математическая модель, построенная на основе полученного дифференциального уравнения, позволяет определять показатели скоростных свойств и топливной экономичности согласно требований ГОСТ 22576-90 (скоростные свойства) и ГОСТ 20306-90 (топливная экономичность). Адекватность полученной математической модели реальным процессам подтверждена экспериментально.

Разработана методика оптимизации ряда передаточных чисел механической трансмиссии на основе вариационного исчисления в приложении к интегралам. Целевые функции, используемые при оптимизации, получены с использованием разработанного дифференциального уравнения прямолинейного движения автомобиля.

Оптимизация рядов передаточных чисел производится по трем условиям оптимальности:

1. Условие минимального расхода топлива при разгоне автомобиля.
2. Условие минимального времени разгона автомобиля.
3. Условие минимальной длины пути разгона автомобиля.

Результаты расчетов представлены в виде степенной функции зависимости значений передаточных чисел трансмиссии от скорости движения автомобиля. Анализ расчетных данных показал, что наиболее приемлемым является разбивка скоростного диапазона автомобиля при помощи геометрической прогрессии, так как в этом случае обеспечивается устойчивая работа двигателя при всех переключениях передач (в сравнении с другими способами разбиения скоростного диапазона автомобиля).

Сравнительный анализ полученных данных позволил сделать следующие выводы:

1. Для оптимизации передаточных чисел трансмиссии автомобилей высокой проходимости рекомендуется использовать оптимизацию по условию минимальной длины пути разгона и минимального расхода топлива при разгоне.
2. Для оптимизации передаточных чисел трансмиссии самосвалов, предназначенных для эксплуатации по дорогам общехозяйственного назначения, с усовершенствованным покрытием рекомендуется применять оптимизацию по условию минимального расхода топлива при разгоне и минимального времени разгона.
3. Для оптимизации передаточных чисел трансмиссии седельных тягачей, предназначенных для эксплуатации по дорогам 1 и 2-й категории рекомендуется применять оптимизацию по условию минимального расхода топлива при разгоне.

Расчетные исследования показали, что применение оптимизированного ряда передаточных чисел трансмиссии позволило получить снижение расхода топлива в магистральном ездовом цикле от 0,55 до 8,27 %, в городском ездовом цикле – от 1,3...8,08 %, в зависимости от назначения автомобиля. Уменьшение времени разгона составило 2,54...14,96 %, %, в зависимости от назначения автомобиля.

Ключевые слова: грузовой автомобиль, скоростные свойства, топливная экономичность, трансмиссия, ряд передаточных чисел, оптимизация, дифференциальное уравнение.

Pavlenko A.V. Improvement of speed properties automobiles KrAZ by optimization of transfer numbers of transmission. - Manuscript.

The dissertation for a candidate degree in science speciality 05.22.02 - Automobiles and tractors. - National transport university, Kiev, 2002.

The dissertation is devoted to a choice of optimum lines of transfer numbers of mechanical step transmission of lorries KrAZ of various purpose(assignment) with the purpose of improvement of their high-speed properties and fuel profitability.

Accuracy of calculation of time and way of dispersal of the automobile is increased due to use of function of the fourth degree for approximation of a curve of twisting moment under the external speed characteristic of the engine and also due to the account in the differential equation of movement of the automobile of such consumers of capacity of the engine as the generator, the compressor and the pump of the hydraulic amplifier of steering management.

By means of the developed mathematical model which adequacy quantitative influence of some transfer numbers of transmission on high-speed properties and the charge of fuel in moving cycles which are determined with standards is confirmed experimentally.

The technique of definition of some transfer numbers of transmission of lorries KrAZ is developed on the basis of calculus of variations in the appendix to integrals. The optimized number of transfer numbers of transmission allows to reach(achieve) the compromise between high-speed properties and fuel profitability.

Recommendations for use of different criteria of an optimality are developed at designing transmissions of automobiles of different purpose.

Key words: a lorry, speed properties, fuel profitability, transmission, a line of transfer numbers, optimization, the differential equation.