

УДК 629.113
UDC 629.113

ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРЕДАТОЧНИХ ЧИСЕЛ ТРАНСМІСІЇ ЗА УМОВИ МІНІМАЛЬНОЇ ВИТРАТИ ПАЛИВА ПРИ УСТАЛЕНОМУ РУСІ АВТОМОБІЛЯ

Сахно В.П., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна
Корпач О.А., кандидат технічних наук Національний транспортний університет, Київ, Україна

DETERMINATION OF TRANSMISSION GEAR RATIOS WITH MINIMUM FUEL CONSUMPTION AT STEADY AUTOMOBILE MOVEMENT

Sakhno V.P., Ph.D., Engineering (Dr.), National Transport university, Kyiv, Ukraine
Korpach O.A., Ph.D., National Transport university, Kyiv, Ukraine

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ЧИСЕЛ ТРАНСМИССИИ ПРИ УСЛОВИИ МИНИМАЛЬНОГО РАСХОДА ТОПЛИВА В УСТАНОВИВШЕМСЯ ДВИЖЕНИИ АВТОМОБИЛЯ

Сахно В.П., доктор технических наук, Национальный транспортный университет, Киев,
Украина
Корпач О.А., кандидат технических наук Национальный транспортный университет, Киев,
Украина

Вступ. Вартість палива складає до 14—20 % від усіх витрат на автомобільні перевезення, тому необхідно його використовувати з максимальною ефективністю для виконання транспортної роботи. Із зниженням витрати палива автомобілями також зменшуватимуться викиди шкідливих речовин в атмосферу і це покращить екологічний стан довкілля. [1]

Одним із можливих шляхів поліпшення паливної економічності автомобілів є реалізація в їх конструкціях оптимальних параметрів трансмісії, які в свою чергу, характеризуються кількістю передач і значенням передаточного числа на кожній із передач.

Використовуючи методи оптимізації ряду передаточних чисел трансмісії, досягають кращої відповідності конструкції автомобіля умовам його експлуатації. Забезпечується така відповідність за рахунок відповідного вибору цільової функції, алгоритму оптимізації, а також достовірністю інформації щодо найбільш вірогідних умов експлуатації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанню поліпшення експлуатаційних властивостей автомобіля шляхом вибору оптимальних передаточних чисел трансмісії приділяється багато уваги. У роботі [2] вибір оптимальних передаточних чисел трансмісії автомобіля розглядається як задача багатокритеріальної оптимізації з використанням методів нелінійного програмування. Оптимізація проводиться за умови мінімізації значення узагальненого критерію оптимальності.

Продовження дане дослідження знайшло у роботі [3]. Зокрема, запропоновано обирати часткові критерії одного порядку, що дозволяє більш точно досліджувати їх вплив на передаточні числа трансмісії автомобіля. Проте і методики наведені в цих дослідженнях не позбавлені недоліків через суб'єктивізм експертів при встановленні ними питомої ваги кожного із критеріїв.

У роботі [4] для оптимізації передаточних чисел трансмісії вантажних автомобілів були застосовані методи варіаційного числення в додатку до інтегралів. Оптимізація передаточних чисел трансмісії проводилася за декількох умов: забезпечення мінімальної витрати палива при розгоні; забезпечення мінімального часу розгону автомобіля; забезпечення мінімального шляху розгону автомобіля.

У роботах [5-6] запропоновано методики визначення рядів передаточних чисел трансмісії автомобіля за умови покращення показників тягово-швидкісних властивостей, шляхом розв'язку задачі одномірної оптимізації. Дані методики є універсальними і їх можливо використовувати при визначенні інших показників експлуатаційних властивостей автомобіля, зокрема паливної економічності.

Метою роботи є визначення передаточних чисел коробки передач автомобіля за умови мінімальної витрати палива при русі в усталених режимах.

Основна частина. Витрата палива автомобілем залежить як від його конструктивних та експлуатаційних параметрів, так і від режиму руху (розгін, усталена швидкість, сповільнення за допомогою двигуна або гальмівної системи; повна зупинка і робота двигуна в режимі холостого ходу).

Передаточне число трансмісії не впливає на витрату палива в режимі холостого ходу та в режимі гальмування за допомогою гальмівної системи.

У режимі усталеного руху з постійною швидкістю витрата палива визначається за залежністю [7]:

$$Q = k_Q \cdot Q_{oc} \cdot \tau, \quad (1)$$

де k_Q – коефіцієнт корекції витрати палива;

Q_{oc} – секундна витрата палива, кг/с;

τ – час руху автомобіля на з сталою швидкістю, с.

Секундна витрата палива визначається [7]:

$$Q_{oc} = a_{Qc} \cdot V^2 + b_{Qc} \cdot V + c_{Qc}, \quad (2)$$

$$\text{де } a_{Qc} = \frac{a_Q \cdot U_i^2}{3600 \cdot r_k^2}, b_{Qc} = \frac{b_Q \cdot U_i}{3600 \cdot r_k}, c_{Qc} = \frac{c_Q}{3600}, \quad (3)$$

U_i – загальне передаточне число трансмісії автомобіля на i -ій передачі;

r_k – радіус кочення колеса, м.

a_Q, b_Q, c_Q – коефіцієнти апроксимації функції годинної витрати палива двигуна :

$$Q_o = a_Q \cdot \omega^2 + b_Q \cdot \omega + c_Q. \quad (4)$$

За наявності швидкісних зовнішніх характеристик двигунів коефіцієнти a_Q, b_Q, c_Q визначаються за допомогою інтерполяційної формули Лагранжа за умови, що:

$$Q_o = \frac{g_e \cdot N_e}{1000}, \quad (5)$$

де g_e – питома витрата палива, г/(кВт·год),

N_e – потужність двигуна, кВт.

Остаточно коефіцієнти a_Q, b_Q, c_Q :

$$a_Q = \frac{((g_N \cdot N_{\max} - g_{\min} \cdot N_{\min}) \cdot (\omega_M - \omega_{\min}) - (g_M \cdot N_M - g_{\min} \cdot N_{\min}) \cdot (\omega_N - \omega_{\min}))}{1000 \cdot ((\omega_N^2 - \omega_{\min}^2) \cdot (\omega_M - \omega_{\min}) + (\omega_{\min}^2 - \omega_N^2) \cdot (\omega_N - \omega_{\min}))},$$

$$b_Q = \frac{(g_M \cdot N_M - g_{\min} \cdot N_{\min}) + a_Q \cdot (\omega_{\min}^2 - \omega_M^2)}{1000 \cdot (\omega_M - \omega_{\min})},$$

$$c_Q = \frac{g_{\min} \cdot N_{\min}}{1000} - a_Q \cdot \omega_{\min}^2 - b_Q \cdot \omega_{\min}^2. \quad (6)$$

Найбільша достовірність витрати палива при частковому використанні потужності двигуна досягається при двох вихідних графіках залежності крутного моменту і годинної витрати палива від кутової швидкості вала двигуна і положення органу керування подачею палива. Зазначені характеристики дозволяють встановити зв'язок між годинною витратою палива при частковій і повній подачах палива для досліджуваного діапазону кутових швидкостей колінчастого вала двигуна. Проте, отримати їх можливо тільки експериментальним шляхом, визначивши навантажувальні характеристики конкретного двигуна при різних частотах обертання колінчастого вала.

При визначенні витрати палива за умови часткового використання потужності двигуна вводиться коефіцієнт корекції витрати палива k_Q , що визначається [8]:

$$k_Q = a_{ki} \cdot k_i^2 + b_{ki} \cdot k_i + c_{ki}, \quad (7)$$

де, k_i – коефіцієнт використання потужності двигуна;

a_{ki}, b_{ki}, c_{ki} – коефіцієнти апроксимації функції $k_Q = f(k_i)$

Коефіцієнт використання потужності двигуна для визначення показників паливної економічності:

$$k_i = \frac{M_a \cdot g \cdot (f_0 + K_f \cdot V) + K_B \cdot F \cdot V^2}{A_i \cdot V^2 + B_i \cdot V + C_i}, \quad (8)$$

де f_0 – коефіцієнт опору кочення при малих швидкостях руху;

K_f – коефіцієнт, що враховує зміну коефіцієнту опору кочення при збільшенні швидкості руху;

K_B – коефіцієнт обтічності, Н·с²/м⁴;

F – лобова площа, м²;

A_i, B_i, C_i – коефіцієнти апроксимації рівняння колової сили: [8]

$$A_i = a \cdot \frac{U_i^3 \cdot \eta_m}{r_d r_k^2}, \quad B_i = b \cdot \frac{U_i^2 \cdot \eta_m}{r_d \cdot r_k}, \quad C_i = c \cdot \frac{U_i \cdot \eta_m}{r_d}, \quad (9)$$

η_m – коефіцієнт корисної дії трансмісії;

r_d та r_k – динамічний радіус та радіус кочення колеса, м.

Час руху τ не впливає на величину передаточного числа при усталеному русі, тому можна перейти до рівняння секундної витрати палива.

Підставивши в (1) залежності (2), (7), з урахуванням (3), (8) та (9) отримаємо залежність секундної витрати палива при усталеному русі від передаточного числа коробки передач, що і є цільовою функцією:

$$Q(U) = \left(\frac{a_Q \cdot U_{КП}^2 \cdot U_{ГП}^2}{3600 \cdot r_k^2} \cdot V^2 + \frac{b_Q \cdot U_{КП} \cdot U_{ГП}}{3600 \cdot r_k} \cdot V + \frac{c_{Qc}}{3600} \right) \times$$

$$\times \left(a_{ki} \cdot \left(\frac{M_a \cdot g \cdot (f_0 + K_f \cdot V) + K_B \cdot F \cdot V^2}{a \cdot \frac{U_{КП}^3 \cdot U_{ГП}^3 \cdot \eta_m}{r_d r_k^2} \cdot V^2 + b \cdot \frac{U_{КП}^2 \cdot U_{ГП}^2 \cdot \eta_m}{r_d r_k} \cdot V + c \cdot \frac{U_{КП} \cdot U_{ГП} \cdot \eta_m}{r_d}} \right)^2 + \right.$$

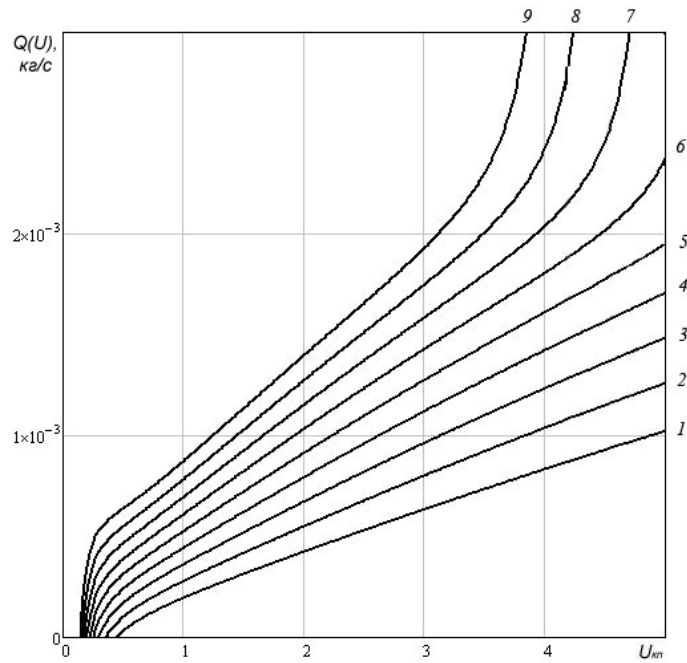
$$\left. + b_{ki} \cdot \left(\frac{M_a \cdot g \cdot (f_0 + K_f \cdot V) + K_B \cdot F \cdot V^2}{a \cdot \frac{U_{КП}^3 \cdot U_{ГП}^3 \cdot \eta_m}{r_d r_k^2} \cdot V^2 + b \cdot \frac{U_{КП}^2 \cdot U_{ГП}^2 \cdot \eta_m}{r_d r_k} \cdot V + c \cdot \frac{U_{КП} \cdot U_{ГП} \cdot \eta_m}{r_d}} \right) + c_{ki} \right). \quad (10)$$

де V – усталена швидкість руху.

Для міського їздового циклу згідно ГОСТ 20306-90 [9] усталена швидкість руху V визначається операційною картою і лежить в межах 20 .. 60 км/год з кроком 5 км/год.

Підставивши ці значення у функцію (10), отримано графік залежностей секундної витрати палива від передаточного числа коробки передач для визначених швидкостей руху (рис 1). Розрахунки проведено на прикладі автомобіля ГАЗ-31105 «Волга» з двигуном ЗМЗ 40525.10.

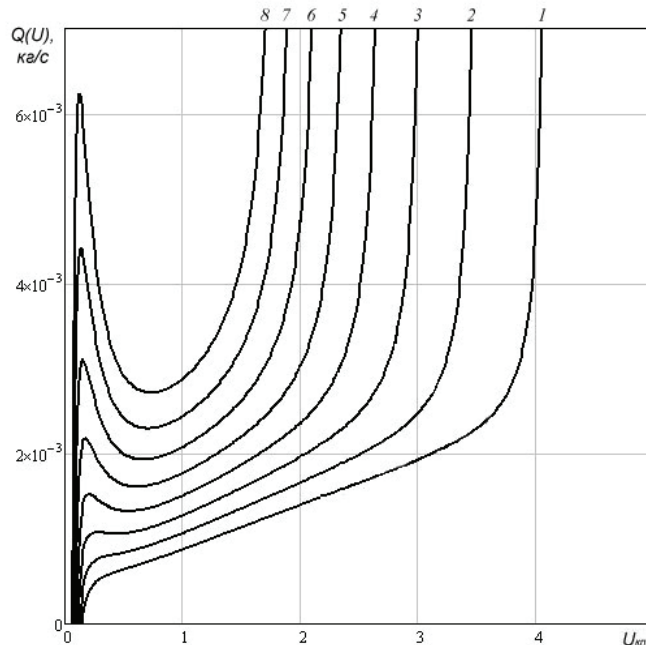
З рис. 1 видно, що зменшення величини передаточного числа коробки передач призводить до зменшення секундної витрати палива. Причому, зі збільшенням швидкості руху, це зменшення стає більш інтенсивним. При швидкостях руху більше 50 км/год відмічається різкий ріст секундної витрати палива зі збільшенням передаточного числа коробки передач, що пояснюється роботою на більш високих обертах двигуна, або взагалі неможливістю досягнення такої швидкості руху автомобілем.



1 – 20 км/год; 2 – 25 км/год; 3 – 30 км/год; 4 – 35 км/год; 5 – 40 км/год; 6 – 45 км/год; 7 – 50 км/год; 8 – 55 км/год; 9 – 60 км/год

Рисунок 1 – Залежність секундної витрати палива автомобілем ГАЗ-31105 «Волга» з двигуном ЗМЗ 40525.10 від передаточного числа коробки передач.

Проте міський їздовий цикл на дорозі враховує лише швидкісні режими руху до 60 км/год. Тому було побудовано залежності секундної витрати палива від передаточного числа коробки передач при швидкостях руху від 60 до 130 км/год з кроком 10 км/год (рис.2).



1 – 60 км/год; 2 – 70 км/год; 3 – 80 км/год; 4 – 90 км/год; 5 – 100 км/год; 6 – 110 км/год; 7 – 120 км/год; 8 – 130 км/год

Рисунок 2 – Залежність секундної витрати палива автомобілем ГАЗ-31105 «Волга» з двигуном ЗМЗ 40525.10 від передаточного числа коробки передач

Подальше збільшення швидкостей руху змушує можливий діапазон передаточних чисел i , починаючи зі швидкості руху більше ніж 80 км/год, з'являється перегин кривої (екстремум), який

відповідає мінімуму секундної витрати палива. Величина передаточного числа у цій точці і буде оптимальним значенням.

Проте визначати передаточні числа на всіх передачах, використовуючи в якості цільової функції рівняння секундної витрати палива, недоцільно, адже до певної швидкості руху екстремумів функції не існує. Тому, дану методику доцільно використовувати при накладенні додаткових обмежень, а також надання рекомендацій щодо величини передаточних чисел, особливо для вищих ступенів.

Висновки. У результаті проведених досліджень було складено цільову функцію залежності витрати палива в усталеному режимі руху автомобіля від величини передаточного числа коробки передач. Встановлено, що визначати передаточні числа на всіх передачах використовуючи складену цільову функцію неможливо. Проте, дану методику доцільно використовувати при накладенні додаткових обмежень, а також наданні рекомендацій щодо величини передаточних чисел, особливо для вищих ступенів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Автомобілі: Тягово-швидкісні властивості та паливна економічність / [Сахно В.П., Безбородова Г.Б., Маяк М.М., Шарай С.М.]. – К: В-во «КВІЦ», 2004. – 174 с.
2. Филькин Н. Н. Оптимизация передаточных чисел и количества ступеней трансмиссии легкового автомобиля: автореф. дис. на соиск. науч. степ. канд. техн. наук: спец. 05.05.03 «Двигатели и энерг. установки» / Филькин Н. Н. – М., 1990. – 21 с.
3. Горбаха М.М. Покращання показників техніко-експлуатаційних властивостей автомобілів при їх переобладнанні. Автореф. дис. канд. техн. наук: спец. 05.22.02 / М.М. Горбаха; Нац. трансп. ун-т. — К., 2006. — 20 с. — укр.
4. Павленко А.В. Перспективы улучшения скоростных свойств и топливной экономичности автомобилей КрАЗ / А.В. Павленко // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. Наукові праці КДПУ. – Кременчук, КДПУ. – 2002. – Вип. 3(14). – С. 105 – 107.
5. Корпач О.А. Методика визначення ряду передаточних чисел коробки передач за умови мінімального часу розгону автомобіля / О.А. Корпач // Вісник Національного транспортного університету. – К.: НТУ, 2013. – Випуск 27. – С. 284 – 290.
6. Сахно В.П. Методика визначення ряду передаточних чисел коробки передач за умови мінімального шляху розгону автомобіля. / В.П. Сахно, О.А. Корпач // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Автомобіле- та тракторобудування. – Х. : НТУ «ХПІ». – 2013. – № 29. – С. 3 – 9.
7. Фаробин Я.Е. Оценка эксплуатационных свойств автопоездов для международных перевозок / Я.Е. Фаробин, В.С. Шупляков. –М.: Транспорт, 1983. – 200 с.
8. Литвинов А.С. Автомобиль: теория эксплуатационных свойств / А.С. Литвинов, Я.Е. Фаробин. – М.: Машиностроение, 1989. – 237 с.
9. Автотранспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытаний: ГОСТ 20306 – 90. – [введен с 01.01.1992]. – М.: Изд-во стандартов, – 1991. – 34 с.

REFERENCES

1. Sakhno V.P., Bezborodova H.B., Maiak M.M., Sharai S.M. Automobiles: Traction-speed characteristics and fuel efficiency. Kyiv: V-vo «KVITs». 2014. 174 p. (Ukr)
2. Fylkyn N. N. Optimization of automobile transmission gear ratios and the number of stages. Avtoreferat. Diss. Moskva. 1990. 21 p. (Rus)
3. Horbakha M.M. Improving the performance of technical and performance characteristics of automobiles in their rebuilding Avtoreferat. Diss. Kyiv. 2006. 20 p. (Ukr)
4. Pavlenko A.V. Prospects for improving the properties of speed characteristics and fuel efficiency KrAZ vehicles. Visnyk Kremenchutskoho derzhavnoho politekhnichnoho universytetu. Naukovi pratsi KDPU. Kremenchuk. 2002. issue 3(14). P. 105 – 107. (Rus)
5. Korpach O.A. The method for determining the gear ratios to ensure minimal acceleration time. Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu. Kyiv. 2013. Issue 27. P 284 – 290.
6. Sakhno V.P., Korpach O.A. The method for determining the gear ratios to ensure minimal acceleration path. Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Zbirnyk naukovykh prats. Serii: Avtomobile- ta traktorobuduvannia. Kharkiv. 2013. Issue 29. P. 3 – 9. (Ukr)
7. Farobyn Ia.E., Shupliakov V.S. Evaluation of trucks performance properties for international traffic. Moskva: Transport. 1983. 200 p. (Rus).

8. Lytvynov A.S., Farobyn Ia.E. Vehicle: theory performance properties. Moskva: Mashynostroenye. 1989. 237 p. (Rus).

9. GOST 20306-90. Vehicles. Fuel efficiency. Test methods. Moskva: Izdatelstvo standartov. 1991 p. 31. (Rus).

РЕФЕРАТ

Сахно В.П. Визначення передаточних чисел трансмісії за умови мінімальної витрати палива при усталеному русі автомобіля. / В.П. Сахно, О.А. Корпач // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2015. – Вип. 1 (31).

В статті розглянуто методику визначення передаточних чисел трансмісії автомобіля за умови мінімальної витрати палива при усталеному русі автомобіля.

Об'єкт дослідження – передаточні числа трансмісії автомобіля.

Мета роботи – визначення передаточних чисел коробки передач автомобіля за умови мінімальної витрати палива при русі в усталених режимах.

Метод дослідження – аналітичний.

У результаті проведених досліджень було складено цільову функцію залежності витрати палива в усталеному режимі руху автомобіля від величини передаточного числа коробки передач. Побудовано залежності витрати палива при усталеному русі автомобіля з різними швидкостями від передаточного числа коробки передач. Встановлено, що визначати передаточні числа на всіх передачах використовуючи складену цільову функцію неможливо. Проте, дану методику доцільно використовувати при накладенні додаткових обмежень, а також наданні рекомендацій щодо величини передаточних чисел, особливо для вищих ступенів.

Результати висвітлені у статті можуть бути використані при оптимізації передаточних чисел трансмісії автомобіля.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АВТОМОБІЛЬ, ТРАНСМІСІЯ, ПЕРЕДАТОЧНІ ЧИСЛА, ПАЛИВНА ЕКОНОМІЧНІСТЬ, УСТАЛЕНИЙ РЕЖИМ РУХУ

ABSTRACT

Sakhno V.P., Korpach O.A. Determination of transmission gear ratios with minimum fuel consumption at steady automobile movement. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2015. – Issue 1 (31).

The article proposes method of determination of transmission gear ratios with minimum fuel consumption at steady automobile movement.

Object of the study – transmission gear ratios

Purpose of the study – determination of transmission gear ratios with minimum fuel consumption at steady automobile movement.

Method of the study – analytic.

As a result of the research was compiled objective function depending on the fuel consumption in the steady movement of the car on the value of gearbox gear ratio. Powered depending on fuel consumption at steady driving a car with different speeds of gearbox gear ratio. Established that define gear ratios on all gear using the composite objective function is impossible. However, this method should be used with the imposition of additional restrictions, as well as advising on the value of gear ratios, especially for higher gear.

The results can be used to optimize the automobile transmission.

KEYWORDS: CAR, TRANSMISSION, GEAR RATIOS, FUEL ECONOMY, STEADY MOVEMENT

РЕФЕРАТ

Сахно В.П. определение передаточных чисел трансмиссии при условии минимального расхода топлива в установившемся движении автомобиля. / В.П. Сахно, А.А. Корпач // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К. : НТУ, 2015. – Вып. 1 (31).

В статье рассмотрена методика определения передаточных чисел трансмиссии автомобиля при условии минимального расхода топлива в установившемся движении автомобиля.

Объект исследования – передаточные числа трансмиссии автомобиля.

Цель работы – определение передаточных чисел коробки передач автомобиля при условии минимального расхода топлива в режиме установившегося движения автомобиля

Метод исследования – аналитический.

В результате проведенных исследований было составлено целевую функцию зависимости расхода топлива в установившемся режиме движения автомобиля от величины передаточного числа коробки передач. Построены зависимости расхода топлива при установившемся движении автомобиля с различными скоростями от передаточного числа коробки передач. Установлено, что определять передаточные числа, на всех передачах, используя составленную целевую функцию невозможно. Однако, данную методику целесообразно использовать при наложении дополнительных ограничений, а также предоставлении рекомендаций по величине передаточных чисел, особенно для высших степеней.

Результаты освещены в статье могут быть использованы при оптимизации передаточных чисел трансмиссии автомобиля.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АВТОМОБИЛЬ, ТРАНСМИССИЯ, ПЕРЕДАТОЧНЫЕ ЧИСЛА, ТОПЛИВНАЯ ЭКОНОМИЧНОСТЬ, УСТАНОВИВШИЙСЯ РЕЖИМ ДВИЖЕНИЯ

АВТОРИ:

Сахно Володимир Прохорович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри «Автомобілі», e-mail: sakhno@i.ua, тел. +380676655344, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова 1. к.301.

Корпач Олексій Анатолійович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, асистент кафедри «Автомобілі», e-mail: mosesoff@bigmir.net, тел. +38093488023, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова 1. к.306.

AUTHORS:

Sakhno Volodymyr P., Ph. D, Engineering (Dr.), professor, National Transport University, head department of automobiles, e-mail: sakhno@i.ua, тел. +38093488023, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str. 1, of 301.

Korpach Oleksiy A., Ph. D, National Transport University, assistant department of automobiles, e-mail: mosesoff@bigmir.net, тел. +38093488023, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str. 1, of. 306.

АВТОРЫ:

Сахно Владимир Прохорович, доктор технических наук, профессор, Национальный транспортный университет, заведующий кафедрой «Автомобили», e-mail: sakhno@i.ua, тел. +380676655344, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова 1. к. 301.

Корпач Алексей Анатольевич, кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, асистент кафедры «Автомобили», e-mail: mosesoff@bigmir.net, тел. +38093488023 Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова 1. к. 306.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Солтус А.П., доктор технічних наук, професор, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, завідувач кафедри «Автомобілі та трактори», Кременчук, Україна

Гутаревич Ю.Ф., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри «Двигуни і теплотехніка», Київ, Україна

REVIEWER:

Soltus A.P., Ph.D., Engineering (Dr.), professor, Kremenchuk Mykhailo Ostohradskyi National University, head department of Automobiles and tractors, Kremenchuk, Ukraine.

Gutarevych Y.F., Ph.D., Engineering (Dr.), professor, National Transport University, head department of engines and heating engineering, Kyiv, Ukraine.