

УДК 629.113  
UDC 629.113

## ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРЕДАТОЧНИХ ЧИСЕЛ ТРАНСМІСІЇ ЗА УМОВИ МІНІМАЛЬНОЇ ВИТРАТИ ПАЛИВА ПРИ РОЗГОНІ 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 DURING ACCELERATION OF VEHICLE

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

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ЧИСЕЛ ТРАНСМИССИИ ПРИ УСЛОВИИ МИНИМАЛЬНОГО РАСХОДА ТОПЛИВА ПРИ РАЗГОНЕ АВТОМОБИЛЯ

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

**Вступ.** У комплексі заходів для поліпшення техніко-економічних показників автомобільного транспорту особливе місце займає проблема поліпшення паливної економічності. Ця проблема може вирішуватися шляхом оптимізації параметрів їх енергосилових установок у 3-х основних напрямках:

- 1) Пошук оптимальних конструктивних параметрів трансмісії;
- 2) Пошук параметрів та характеристик самої енергетичної установки;
- 3) Одночасний пошук оптимальних параметрів і характеристик трансмісії і енергетичної установки.

У випадку використання двигунів з задалегідь визначеними характеристиками доцільно виконувати оптимізацію конструктивних параметрів трансмісії шляхом визначення передаточних чисел її окремих елементів (коробки передач, головної передачі тощо).

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 [1] запропоновано методику оптимізації енергосилової установки автомобіля «Ижмаш-Авто», що базується на пошуку узагальненого критерію оптимальності шляхом групування окремих часткових критеріїв, з накладенням обмежень на часткові критерії, що залишилися після групування. При постановці завдання поліпшення паливної економічності проектного автомобіля узагальнений критерій оптимальності буде являти собою комбінацію часткових критеріїв тільки паливної економічності, а на тягово-швидкісні властивості введуться обмеження.

Комплексну оптимізацію передаточних чисел трансмісії висвітлено в роботі [2]. Тут в якості цільової функції використано відношення годинної витрати палива  $G_n$  за  $j$ -й проміжок часу при розгоні автомобіля за умови повного відкриття дросельної заслінки до повної маси цього автомобіля. Після накладення на неї певних умов, авторами було отримано рівняння середніх значень щільності ряду передаточних чисел, які визначаються діапазоном енергозатрат на рух автомобіля в заданих умовах.

А у роботі [3] було запропоновано так званий «економічний» ряд, який враховував рівень втрат продуктивності, що пов'язаний з неповним використанням потужності на передачах, тривалість роботи на яких більша за рахунок других передач.

У роботах [4-5] 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 розгоні автомобіля.

**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.

Цільова функція мінімальної витрати палива при розгоні автомобіля в загальному випадку буде мати вигляд:

$$Q = f(U) \rightarrow \min . \quad (1)$$

Визначивши мінімум даної функції, можна визначити і значення передаточного числа трансмісії, що відповідає йому, яке і буде оптимумом.

Витрата палива при неусталеному русі за повного використання потужності двигуна, що відповідає режимам розгону автомобіля, визначається залежністю [6].

$$Q_i = M_a \cdot \delta_{об} \cdot \int_{v_n}^{v_k} \frac{a_{Qc} \cdot V^2 + b_{Qc} \cdot V + c_{Qc}}{a_i \cdot V^2 + b_i \cdot V + c_i} dV, \quad (2)$$

де  $M_a$  – повна маса автомобіля, кг;

$\delta_{об}$  – коефіцієнт, який враховує обертові маси автомобіля;

$V_n, V_k$  – початкова і кінцева швидкості руху автомобіля, м/с;

$a_i, b_i, c_i$  – коефіцієнти правої частини диференційного рівняння руху автомобіля[7]:

$$a_i = A_i - K_B \cdot F, \quad b_i = B_i - K_f \cdot M_a \cdot g, \quad c_i = C_i - f_0 \cdot M_a \cdot g \quad (3)$$

$$A_i = a \cdot \frac{U_i^3 \cdot \eta_m}{r_d r_k^2}, \quad B_i = b \cdot \frac{U_i^2 \cdot \eta_m}{r_d \cdot r_k}, \quad C_i = c \cdot \frac{U_i \cdot \eta_m}{r_d}, \quad (4)$$

де  $K_B$  – коефіцієнт обтічності, Н·с<sup>2</sup>/м<sup>4</sup>;

$F$  – лобова площа, м<sup>2</sup>;

$M_a$  – повна маса автомобіля, кг;

$f_0$  – коефіцієнт опору кочення при малих швидкостях руху;

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

$\eta_m$  – коефіцієнт корисної дії трансмісії;

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

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

де  $a, b, c$  – коефіцієнти апроксимації крутного моменту двигуна, отриманої експериментальним шляхом

$a_{Qc}, b_{Qc}, c_{Qc}$  – коефіцієнти рівняння, яким апроксимується залежність секундної витрати палива двигуном від частоти обертання колінчастого вала[7]:

$$a_{Qc} = \frac{a_Q \cdot U_i^2}{3600 \cdot r_k^2}, \quad b_{Qc} = \frac{b_Q \cdot U_i}{3600 \cdot r_k}, \quad c_{Qc} = \frac{c_Q}{3600}, \quad (5)$$

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

$a_Q, b_Q, c_Q$  – коефіцієнти апроксимації функції годинної витрати палива двигуна[7]:

$$Q_o = a_Q \cdot \omega^2 + b_Q \cdot \omega + c_Q \quad (6)$$

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

$$Q_o = \frac{g_e \cdot N_e}{1000} \quad (7)$$

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

$N_e$  – потужність двигуна, кВт.

Остаточно коефіцієнти  $a_Q, b_Q, c_Q$  :

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

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

$$c_Q = \frac{g_{\min} \cdot N_{\min}}{1000} - a_Q \cdot \omega_{\min}^2 - b_Q \cdot \omega_{\min} \quad (8)$$

Підставивши у вираз (2) значення (3), (4),(5) та (8), було отримано цільову функцію для витрати палива при розгоні автомобіля від передаточного числа коробки передач:

$$Q(U) = M_a \cdot \delta_{об} \cdot \int_{v_n}^{v_k} \frac{a \frac{a_Q \cdot U_{КП}^2 \cdot U_{ГП}^2}{3600 \cdot r_k^2} \cdot V^2 + \frac{b_Q \cdot U_{КП} \cdot U_{ГП}}{3600 \cdot r_k} \cdot V + \frac{c_Q c}{3600}}{r_d r_k^2 \cdot U_{КПi}^3 \cdot U_{ГП}^3 \cdot \eta_m \cdot V^2 + b \cdot \frac{U_{КПi}^2 \cdot U_{ГП}^2 \cdot \eta_m}{r_d r_k} \cdot V + c \cdot \frac{U_{КПi} \cdot U_{ГП} \cdot \eta_m}{r_d}} dV \quad (9)$$

Далі функція (8) інтегрується для отримання кінцевого вигляду цільової функції. У зв'язку зі значною масивністю кінцевий вигляд цільової функції не приводиться.

Цільова функція  $Q(U)$  не є функцією однієї змінної. Вона залежить, як мінімум від передаточних чисел коробки передач  $U_{КПi}$  і початкової  $V_{П}$  та кінцевої швидкостей руху  $V_K$  на передачі. Всі інші параметри, що входять в залежність (9), з певними припущеннями, можна вважати постійними.

Для приведення функції  $Q(U)$  до вигляду неперервної унімодалної функції однієї змінної (залежності часу розгону від передаточних чисел коробки передач  $U_{КПi}$ ) необхідно задати значення початкової та кінцевої швидкостей руху автомобіля на передачі  $V_{П}$  та  $V_K$ , тобто ввести обмеження.

Так, для ступінчастої коробки передач, перша передача має забезпечувати задану умову подолання максимального опору руху і обмежується зчепленням ведучих коліс автомобіля з дорожнім полотном. Першу передачу доцільно приймати аналогічно до базового ряду передаточних чисел. Всі інші передачі визначаються через діапазони швидкостей від початкової  $V_{П}$  до кінцевої  $V_K$ , причому зі збільшенням номеру передачі зростають і значення швидкостей. Інтервали швидкостей від  $V_{П}$  до  $V_K$  доцільно обирати, використовуючи за основу базовий ряд передаточних чисел автомобіля та ряди, отримані різноманітними методами, такими як геометрична прогресія, гармонічний, динамічний ряд та ін.

Для автомобіля ГАЗ-31105 «Волга» з двигуном ЗМЗ 40525.10 значення інтервалів швидкостей на передачах, для базового ряду передаточних чисел складають: перша передача – 0 .. 11,138 м/с ; друга передача – 2,965 .. 19,273 м/с; третя передача – 4,975 .. 32,337 м/с; четверта передача – 6,487 .. 42,167 м/с; п'ята передача – 8,170 .. 53,107 м/с.

У даному випадку включається весь швидкісний діапазон по передачах від мінімальної  $\omega_{\min}$  до максимальної  $\omega_{\max}$  частоти обертання колінчастого валу двигуна.

Підставивши значення  $V_{П}$  і  $V_K$  для кожної передачі у вираз (9), побудовано графіки залежності часу розгону від значення передаточного числа коробки передач на кожній передачі (рис.1).

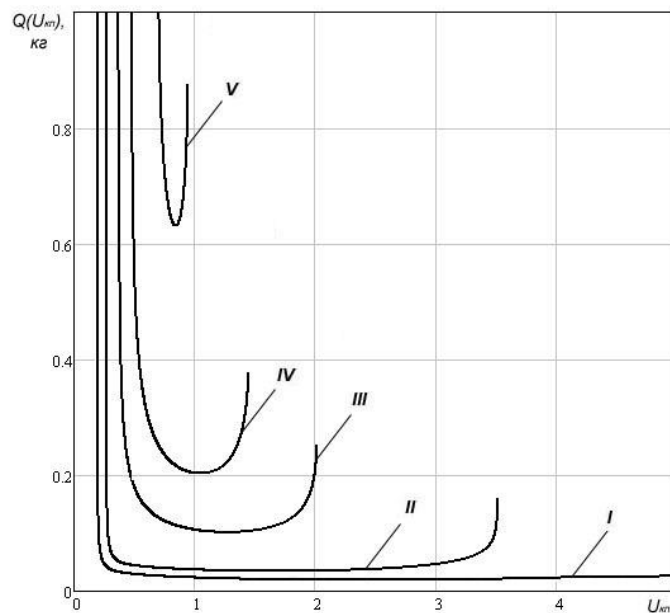


Рисунок 1 – Залежність витрати палива при розгоні автомобіля ГАЗ-31105 «Волга» з двигуном ЗМЗ 40525.10 від передаточних чисел коробки передач

Після введення обмежень у функції  $\tau(U)$  залишається тільки одна змінна - передаточне число коробки передач  $U_{кпi}$ , що і є шуканою величиною. Для її визначення використовується метод «золотого січення». Передаточне число визначається для кожної передачі, окрім першої, в залежності від обраного інтервалу швидкостей. Пошук завершується після досягнення заданої точності ( $E = 0,001$ ), для цього потребується 16 послідовних ітерацій зменшення інтервалу пошуку[8].

В результаті було визначено передаточні числа коробки передач автомобіля ГАЗ-31105 «Волга» з двигуном ЗМЗ 40525.10: перша передача – 3,786; друга передача – 1,684; третя передача – 1,268; четверта передача – 1,046; п'ята передача – 0,847.

**Висновки.** У результаті проведених досліджень було складено цільову функцію залежності витрати палива та визначено ряд передаточних чисел коробки передач автомобіля за умови мінімальної витрати палива при розгоні автомобіля.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кондрашкин А.С. Методика оптимизации параметров энергосиловой установки автомобиля / А.С. Кондрашкин, Н.М. Филькин, В.Ю. Сальников // Автомобильная промышленность. – 2002. – № 4. – С. 32 – 33.
2. Фасхиев Х.А. Определение рациональных технико-экономических показателей автомобиля при его проектировании / Х.А. Фасхиев, И.Ф. Шайхутдинов, А.Д. Галимянов, И.Д. Валеев // Автомобильная промышленность. – М.: Машиностроение, 2007, – № 3. – С. 8 – 10.
3. Шепеленко Г.Н. Основы теории самоходных машин / Г.Н. Шепеленко. – Х.: Изд-во «Основа» при Харьк. ун-те, 1993. – 216 с.
4. 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.
5. 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.
6. Литвинов А.С. Автомобиль: теория эксплуатационных свойств / А.С. Литвинов, Я.Е. Фаробин. – М.: Машиностроение, 1989. – 237 с.
7. Фаробин Я.Е. Оценка эксплуатационных свойств автопоездов для международных перевозок / Я.Е. Фаробин, В.С. Шупляков. – М.: Транспорт, 1983. – 200 с.
8. Реклейтис Г. Оптимизация в технике. Том 1. / Реклейтис Г., Рейвиндран А., Рэгсдел К. – М.: Мир, 1986. – 348 с.

## REFERENCES

1. Kondrashkyn A.S., Fylkyn N.M, Salnykov V.Iu. The method of optimizing the parameters of vehicle powertrain. *Avtomobylnaia promyshlennost*. 2002. Issue 4. P 32 – 33. (Rus)
2. Faskhyev Kh.A., Shaikhutdynov Y.F., Halymianov A.D., Valeev Y.D. Definition of rational technical and economic performance of a vehicle during developing. *Avtomobylnaia promyshlennost*. Moskva: Mashynostroenye. 2007. Issue 3. P. 8 – 10. (Rus)
3. Shepelenko H.N. Fundamentals of the theory of self-propelled machines. Kharkov: Izdatelstvo «Osnova». 1993. 216 p. (Rus)
4. 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.
5. 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)
6. Lytvynov A.S., Farobyn Ia.E. Vehicle: theory performance properties. Moskva: Mashynostroenye. 1989. 237 p. (Rus).
7. Farobyn Ia.E., Shupliakov V.S. Evaluation of trucks performance properties for international traffic. Moskva: Transport. 1983. 200 p. (Rus).
8. Rekleitys H., Reivyndran A., Rehsdel K. Optimization techniques. Volume 1. Moskva: Myr. 1986. 348 p. (Ukr)

## РЕФЕРАТ

Сахно В.П. Визначення передаточних чисел трансмісії за умови мінімальної витрати палива при розгоні автомобіля. / В.П. Сахно, О.А. Корпач // Вісник Національного транспортного університету. Серія “Технічні науки”. Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2015. - Вип. 2 (32).

В статті розглянуто методику визначення передаточних чисел трансмісії автомобіля за умови мінімальної витрати палива при розгоні 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 при розгоні автомобіля від величини передаточного числа коробки передач. Побудовано залежності витрати палива при розгоні автомобіля від передаточного числа коробки передач по передачах. Визначено передаточні числа коробки передач автомобіля ГАЗ-31105 «Волга» з двигуном ЗМЗ 40525.10 за умови мінімальної витрати палива автомобілем при розгоні.

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

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** АВТОМОБІЛЬ, ТРАНСМІСІЯ, ПЕРЕДАТОЧНІ ЧИСЛА, ПАЛИВНА ЕКОНОМІЧНІСТЬ, РОЗГІН

## ABSTRACT

Sakhno V.P., Korpach O.A. Determination of transmission gear ratios with minimum fuel consumption during acceleration of vehicle. *Visnyk National Transport University. Series “Technical sciences”*. Scientific and Technical Collection. - Kyiv. National Transport University, 2015. - Issue 2 (32).

The article proposes method of determination of transmission gear ratios with minimum fuel consumption during acceleration of vehicle.

Object of the study – transmission gear ratios

Purpose of the study – determination of transmission gear ratios with minimum fuel consumption during acceleration of vehicle.

Method of the study – analytic.

As a result of the research was compiled objective function depending on the fuel consumption during acceleration of vehicle on the value of gearbox gear ratio. Powered depending on fuel consumption during acceleration of vehicle with different speeds of gearbox gear ratio. Determined gear ratios gearbox GAZ-31105 "Volga" with ZMZ 40525.10 engine for minimum fuel consumption vehicle during acceleration.

The results can be used to optimize the automobile transmission.

**KEYWORDS:** CAR, TRANSMISSION, GEAR RATIOS, FUEL ECONOMY, ACCELERATION

### РЕФЕРАТ

Сахно В.П. определение передаточных чисел трансмиссии при условии минимального расхода топлива при разгоне автомобиля. / В.П. Сахно, А.А. Корпач // Вестник Национального транспортного университета. Серия "Технические науки". Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2015. - Вып. 2 (32).

В статье рассмотрена методика определения передаточных чисел трансмиссии автомобиля при условии минимального расхода топлива при разгоне автомобиля.

Объект исследования – передаточные числа трансмиссии автомобиля.

Цель работы – определение передаточных чисел коробки передач автомобиля при условии минимального расхода топлива при разгоне автомобиля

Метод исследования – аналитический.

В результате проведенных исследований было составлено целевую функцию зависимости расхода топлива при разгоне автомобиля от величины передаточного числа коробки передач. Построены зависимости расхода топлива при разгоне автомобиля от передаточного числа коробки передач по передачам. Определены передаточные числа коробки передач автомобиля ГАЗ-31105 «Волга» с двигателем ЗМЗ 40525.10 минимальном расходе топлива автомобилем при разгоне.

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

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** АВТОМОБИЛЬ, ТРАНСМИССИЯ, ПЕРЕДАТОЧНЫЕ ЧИСЛА, ТОПЛИВНАЯ ЭКОНОМИЧНОСТЬ, РАЗГОН

### 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: mooseoff@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: mooseoff@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: mooseoff@bigmir.net, тел. +38093488023 Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова 1. к. 306.

### РЕЦЕНЗЕНТИ:

Кравченко О.П., доктор технічних наук, професор, Житомирський державний технологічний університет, професор кафедри автомобілів та автомобільного господарства, Житомир, Україна.

Матейчик В.П., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, декан автомеханічного факультету, Київ, Україна.

### REVIEWER:

Kravchenko O.P., Ph.D., Engineering (Dr.), professor, Zhytomyr State Technological University, professor, department of automobiles and automobile economy, Zhytomyr, Ukraine.

Mateichyk V.P., Ph.D., Engineering (Dr.), professor, National Transport University, dean of automobile mechanic faculty, Kyiv, Ukraine.