

Подригало М.А.

Абрамов Д.В.

Дубінін Є.О.

Шейн В.С.

Тарасов Ю.В.

Харківський національний автомобільно -
дорожній університет

E-mail: yuriy.ledd@gmail.com

**ОЦІНКА ПРИСТОСОВАНОСТІ ЛЕГКОВИХ
АВТОМОБІЛІВ ЗА АЕРОДИНАМІЧНИМИ
ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ДО ПІДВИЩЕННЯ
ПОТУЖНОСТІ ДВИГУНІВ ПРИ МОДЕРНІЗАЦІЇ**

УДК 629.3.015.3

Подригало М.А., Абрамов Д.В., Дубінін Є.О., Шейн В.С., Тарасов Ю.В. «Оцінка пристосованості легкових автомобілів за аеродинамічними характеристиками до підвищення потужності двигунів при модернізації»

Основна частина витрат потужності двигуна при русі автомобіля на високих швидкостях витрачається на подолання аеродинамічного опору. У запропонованому до уваги читачів матеріалі запропоновано метод оцінки ефективності збільшення максимальної потужності двигуна при модернізації легкових автомобілів в процесі серійного виробництва. Ефективність модернізації автомобіля оцінювалася за взаємозв'язком між заданим відносним збільшенням максимальної конструктивної швидкості і необхідним для цього відносним збільшенням максимальної ефективної потужності двигуна.

Метою дослідження було оцінювання впливу параметрів аеродинамічних характеристик на ефективність модернізації легкових автомобілів шляхом збільшення максимальної потужності двигуна.

При використанні традиційної методики визначення аеродинамічної сили по деякому середньому постійному значенні коефіцієнта аеродинамічного опору, ефективність модернізації шляхом збільшення потужності двигуна для всіх автомобілів однакова, оскільки сила опору повітря приймається пропорційною квадрату лінійної швидкості автомобіля. Проведені раніше авторами статті теоретичні та експериментальні дослідження показали, що коефіцієнт лобового аеродинамічного опору змінюється в залежності від швидкості автомобіля за гіперболічним законом, причому показник ступеня при швидкості для різних моделей автомобілів має різні значення.

Для прийнятих при проведенні порівняльного аналізу дев'яти моделей легкових автомобілів визначено, що найбільшу ефективність при модернізації шляхом збільшення потужності двигуна виявляють автомобілі ВАЗ-2115, ВАЗ-2111, ЗАЗ-1103, а найгіршу – автомобіль Daewoo Lanos.

На прикладі багаторівневої модернізації шляхом збільшення максимальної ефективної потужності двигуна автомобіля ЗАЗ-1103 підтверджена розрахункова формула, що зв'язує між собою відносне збільшення максимальної конструктивної швидкості, і, необхідного для досягнення цього, відносного збільшення максимальної ефективної потужності двигуна.

Ключові слова: модернізація, потужність двигуна, коефіцієнт лобового аеродинамічного опору, конструктивна швидкість, зниження витрат.

Подригало М.А., Абрамов Д.В., Дубінін Е.А., Шейн В.С., Тарасов Ю.В. «Оценка приспособленности легковых автомобилей по аэродинамическим характеристикам к повышению мощности двигателей при модернизации»

Основная часть затрат мощности двигателя при движении автомобиля на высоких скоростях приходится на преодоление аэродинамического сопротивления. В предлагаемом вниманию читателей материале предложен метод оценки эффективности увеличения максимальной мощности двигателя при модернизации легковых автомобилей в процессе серийного производства. Эффективность модернизации автомобиля оценивалась по взаимосвязи между заданным относительным увеличением максимальной конструктивной скорости и требуемым для этого относительным увеличением максимальной эффективной мощности двигателя.

Целью исследования являлась оценка влияния параметров аэродинамических характеристик на эффективность модернизации легковых автомобилей путем увеличения максимальной мощности двигателя.

При использовании традиционной методики определения аэродинамической силы при некотором среднем постоянном значении коэффициента аэродинамического сопротивления, эффективность модернизации путем увеличения мощности двигателя для всех автомобилей одинакова, поскольку сила сопротивления воздуха принимается пропорциональной квадрату линейной скорости автомобиля. Проведенные ранее авторами статьи теоретические и экспериментальные исследования показали, что коэффициент лобового аэродинамического сопротивления изменяется в зависимости от скорости автомобиля по гиперболическому закону, причем показатель степени при скорости для различных моделей автомобилей имеет различные значения.

Для принятых при проведении сравнительного анализа девяти моделей легковых автомобилей определено, что наибольшую эффективность при модернизации путем увеличения мощности двигателя проявляют автомобили ВАЗ-2115, ВАЗ-2111, ЗАЗ-1103, а наихудшую – автомобиль Daewoo Lanos.

На примере многократной модернизации путем увеличения максимальной эффективной мощности двигателя автомобиля ЗАЗ-1103 подтверждена расчетная формула, связывающая между собой относительное увеличение максимальной конструктивной скорости, и, требуемого для достижения этого, относительного увеличения максимальной эффективной мощности двигателя.

Ключевые слова: модернизация, мощность двигателя, коэффициент лобового аэродинамического сопротивления, конструктивная скорость, снижение потерь.

Podrigalo M., Abramov D., Dubinin E., Shein V., Tarasov Yu. "Assessment of the adaptability of passenger cars for aerodynamic characteristics to increase engine power during modernization"

The main part of the power consumption of the engine when driving at high speeds is spent on overcoming aerodynamic drag. In the material offered to the readers' attention, the method is proposed for assessing the effectiveness of increasing the maximum effective engine power when modernizing passenger cars in the process of mass production. The efficiency of vehicle modernization was assessed by the relationship between a given relative increase of maximum design speed and the required relative increase of maximum effective engine power.

The aim of the study was to assess the influence of aerodynamic parameters on the efficiency of modernization of passenger cars by increasing the maximum engine power.

When using the traditional method of determining the aerodynamic force at a certain average constant value of the coefficient of aerodynamic drag, the efficiency of modernization by increasing the engine power is the same for all cars, since the air resistance force is taken proportional to the square of the linear speed of the vehicle. The theoretical and experimental studies carried out earlier by the authors of the article showed that the drag coefficient changes depending on the speed of the car according to the hyperbolic law, and the exponent at speed for different car models has different values.

For the nine models of passenger cars adopted during the comparative analysis, it was determined that the VAZ-2115, VAZ-2111, ZAZ-1103 cars show the greatest efficiency during modernization by increasing the engine power, and the Daewoo Lanos car is the worst.

On the example of multiple modernization, by increasing the maximum effective engine power of the ZAZ-1103 car, the calculation formula has been confirmed, linking the relative increase in the maximum design speed, and the relative increase in the maximum effective engine power required to achieve this.

Keywords: upgrade, engine power, drag coefficient, design speed, loss reduction.

Вступ

Аеродинамічний опір здійснює найбільший вплив на витрати потужності двигуна, що особливо проявляється на високих швидкостях руху легкових автомобілів. В статті, на основі запропонованого методу розрахунку аеродинамічного опору руху автомобіля, запропонований метод оцінювання ефективності збільшення максимальної потужності двигуна при модернізації в процесі серійного виробництва. Ефективність вказаної модернізації оцінювалась за взаємозв'язком між відносним збільшенням максимальної потужності двигуна та відносним збільшенням максимальної швидкості автомобіля. В якості приклада розглянуто автомобіль ЗАЗ-1103 "Славути", що в процесі свого випуску неодноразово проходив модернізацію зі збільшенням максимальної ефективної потужності двигуна.

Актуальність проблеми

Під час модернізації легкових автомобілів фірми-виробники встановлюють на них двигуни, що мають збільшену потужність. Основна частина витрат потужності двигуна при русі автомобіля на високих швидкостях витрачається на подолання аеродинамічного опору. Виникає питання оцінювання ефективності такої модернізації за критерієм відносного збільшення максимальної конструктивної швидкості автомобіля.

Аналіз останніх досліджень

Для розрахунку сили аеродинамічного опору в теорії експлуатаційних властивостей використовується відома формула [1, 2]

$$P_w = \frac{C_x}{2} \rho F V_a^2, \quad (1)$$

де P_W – сила аеродинамічного опору;

C_x – коефіцієнт лобового аеродинамічного опору, що приймається постійним на всьому діапазоні зміни швидкості автомобіля V_a ;

ρ – щільність повітря;

F – площа лобового аеродинамічного спротиву (мідель автомобіля).

Однак, відомо [3], що вираз (1) справедливий не на всьому діапазоні швидкостей. На малих швидкостях (до $V_a = 1$ м/с) справедливий закон першого ступеня, при більших швидкостях, що близькі до швидкості звуку, має місце закон кубів, а при швидкостях вище звукової – знов спостерігається закон квадратів. Також пропонується [3] для автомобілів приймати закон квадратів, при цьому ставити коефіцієнт C_x в залежності від швидкості руху автомобіля. В подальшому, при створенні теорії автомобіля, про це попередження забули, приймаючи $C_x = const$ для усього діапазону швидкостей руху.

Результати досліджень, проведених у працях [4, 5] дозволили встановити, що коефіцієнт C_x лобового аеродинамічного опору змінюється за гіперболічним законом виду

$$C_x = \frac{A_W}{V_a^n}, \quad (2)$$

де A_W – постійний коефіцієнт, що відповідає значенню C_x при $V_a = 1$ м/с і має розмірність $[(\text{м/с})^n]$;

n – показник ступеня при швидкості руху.

Значення величин A_W та n є величинами постійними для конкретного автомобіля і, очевидно, залежать від форми його кузова.

На рис.1 представлені залежності $C_x(V_a)$, отримані розрахунково-експериментальним шляхом в роботі [4]. Під час експерименту використовувався метод вибігу [6, 7], а при виконанні обробки результатів – метод парціальних прискорень [4]. Для автомобілів ЗАЗ-1103 “Славути” та ВАЗ-2107 визначені значення коефіцієнтів, відповідно $A_W = 3,252 (\text{м/с})^{1,15}$ та $A_W = 1,597 (\text{м/с})^{0,866}$. Значення показників ступенів склали $n=1,150$ та $n=0,865$ [4].

При підстановці співвідношення (2) у вираз (1) отримаємо [4]

$$P_W = \frac{A_W}{2} \rho F V_a^{2-n}. \quad (3)$$

Розрахунки, виконані для автомобіля ЗАЗ-1103 “Славути” в роботі [4] показали, що при максимальній швидкості руху $V_{max} = 126$ км/год (35 м/с), розрахункове значення P_W при використанні традиційної формули (1) складає 492 Н, а при уточненій – 81 Н, тобто зменшується більш ніж у 6 разів.

Потужність, що витрачається на подолання аеродинамічного опору, пропорційна P_W , тобто

$$N_W = P_W \cdot V_a. \quad (4)$$

Таким чином, для автомобіля ЗАЗ-1103 “Славути” при розрахунку за уточненою формулою (3) потужність, що витрачається на подолання сили аеродинамічного опору, також зменшується більш ніж у 6 разів.

В роботі П.Н. Гащука [10] показано, що енергетична ефективність автомобіля у значній мірі визначається його аеродинамічними характеристиками, тобто найбільша частка потужності двигуна, що витрачається, припадає на вказаний вид опору руху.

Таким чином, можна зробити висновок, про те, що залежність параметрів аеродинамічних характеристик від швидкості необхідно враховувати при збільшенні максимальної ефективної потужності двигуна в процесі його модернізації.

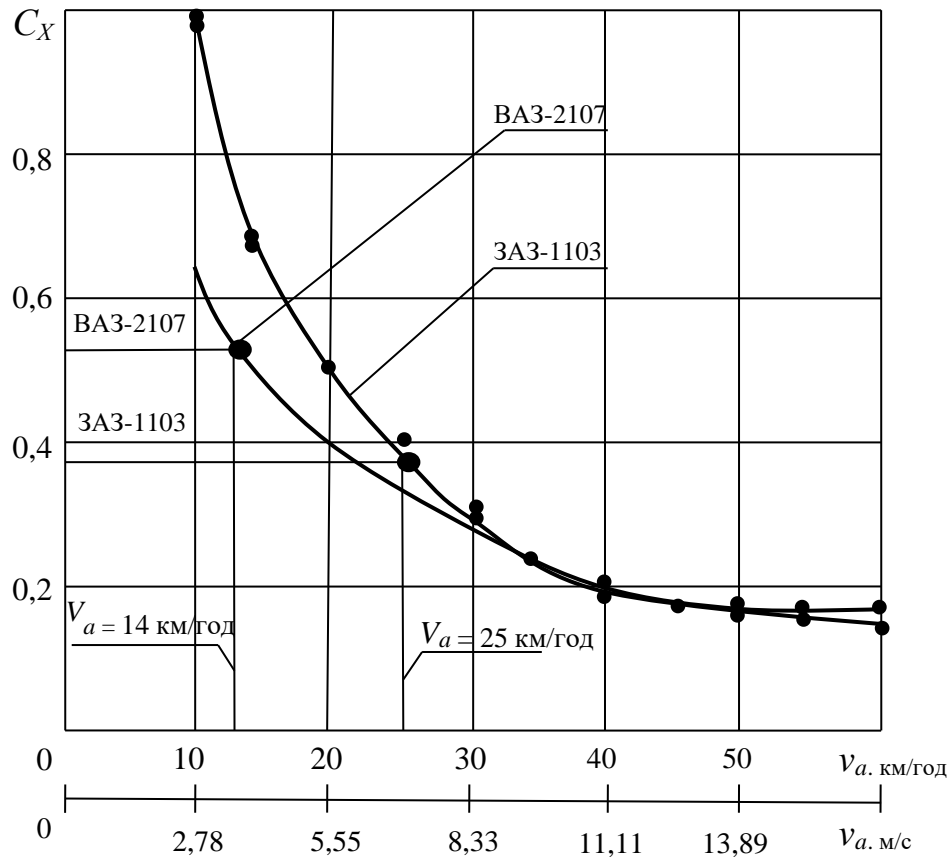


Рис.1. Експериментальні залежності $C_x(V_a)$ [4]

Формулювання мети дослідження

Метою дослідження є оцінка впливу параметрів аеродинамічних характеристик на ефективність модернізації легкових автомобілів шляхом збільшення максимальної потужності двигуна.

Для досягнення поставленої мети необхідно визначити взаємозв'язок між збільшенням максимальної потужності двигуна та максимальною конструктивною швидкістю легкових автомобілів.

Результати дослідження

Після підстановки співвідношення (3) у вираз (4) отримаємо

$$N_W = \frac{A_W}{2} \rho F V_a^3 - n. \quad (5)$$

Рівняння (5) виражає залежність потужності, що витрачається на подолання сили аеродинамічного опору при використанні уточненого методу визначення C_x (див. залежність (2)).

При довгостороковому випуску легкових автомобілів конкретної моделі виникає необхідність збільшення їх максимальної конструктивної швидкості руху та максимальної ефективної потужності двигуна.

Можна знайти велику кількість прикладів встановлення фірмами-виробниками нових, більш потужних двигунів в кузова легкових автомобілів, аеродинамічні характеристики яких залишаються попередніми. Аналіз тягово-швидкісних характеристик багатьох модернізованих в процесі виробництва легкових автомобілів показує, що при установці більш потужного двигуна максимальна швидкість руху визначається неточно,

очевидно, з використанням старої методики розрахунку аеродинамічного опору при $C_x = const$.

Представляє інтерес оцінка бажаного підвищення ефективної потужності двигуна $\Delta N_{e\max}$ при модернізації легкового автомобіля з метою збільшення максимальної конструктивної швидкості руху. Ця оцінка є оцінкою адаптивної властивості легкового автомобіля пристосовуватися до модернізації.

Баланс потужностей автомобіля при русі з максимальною швидкістю

$$N_{e\max} \cdot \eta_{mp\max} = N_{\psi\max} + N_{w\max}, \quad (6)$$

де $N_{e\max}$, $N_{\psi\max}$, $N_{w\max}$ – максимальна ефективна потужність двигуна, максимальні потужності, що витрачаються на подолання сил дорожнього спротиву та аеродинамічного; $\eta_{mp\max}$ – ККД трансмісії при реалізації максимальної ефективної потужності двигуна.

Приймаємо, що оцінка проводиться при русі автомобіля горизонтальною дорожньою поверхнею. В цьому випадку

$$N_{\psi\max} = N_{f\max}, \quad (7)$$

де $N_{f\max}$ – потужність, що витрачається на подолання спротиву коченню коліс.

Ходова частина автомобіля з позицій класичної механіки представляє собою чотириохланковий механізм [8]. З позицій класичної механіки, сили спротиву коченню, як і інші сили взаємодії коліс з дорогою, можуть бути розглянуті як внутрішні сили в механізмі. Це дозволило авторам роботи [9] розглядати втрати на спротив коченню коліс як внутрішні втрати передачі енергії від двигуна до рами (корпусу) автомобіля. З врахуванням вказаної обставини перетворимо рівняння (6) потужнісного балансу до вигляду

$$N_{e\max} \cdot \eta_{mp\max} - N_{\psi\max} = N_{w\max} \quad (8)$$

чи

$$N_{e\max} \cdot \left(\eta_{mp\max} - \frac{N_{\psi\max}}{N_{e\max}} \right) = N_{w\max}. \quad (9)$$

Таким чином,

$$N_{e\max} \cdot \eta'_{mp\max} = N_{w\max} \quad (10)$$

де $\eta'_{mp\max}$ – ККД передачі від двигуна до рами автомобіля при реалізації максимальної потужності двигуна $N_{e\max}$,

$$\eta'_{mp\max} = \eta_{mp\max} - \frac{N_{f\max}}{N_{e\max}} \quad (11)$$

Приймаючи $\eta'_{mp\max} = const$, визначаємо диференціал функції (10)

$$\eta'_{mp\max} \cdot dN_{e\max} = dN_{w\max}. \quad (12)$$

Переходячи від нескінченно малих величин до кінцевих, перетворимо (12) до вигляду

$$\eta'_{mp\max} \cdot \Delta N_{e\max} = \Delta N_{w\max}. \quad (13)$$

На етапі попереднього проектування можна прийняти $\eta'_{mp\max} = 1$. Це дозволяє зробити висновок про те, що збільшення максимальної ефективної потужності двигуна при модернізації дорівнює збільшенню максимальної потужності, що витрачається на подолання аеродинамічного опору автомобіля, тобто

$$\Delta N'_{e\max} \cong \Delta N_{w\max}. \quad (14)$$

Таким чином, баланс потужностей автомобіля після проведення модернізації буде мати наступний вигляд

$$N_{w\max} + \Delta N_{w\max} = \frac{A_w}{2} \rho F (v_{a\max} + \Delta v_{a\max})^{3-n}, \quad (15)$$

де $\Delta V_{a \max}$ – розрахункове прирощення максимальної конструктивної швидкості після модернізації автомобіля;

$V_{a \max}$ – максимальна конструктивна швидкість до модернізації автомобіля.

Рівняння (15) приведемо до вигляду

$$\Delta N_{w \max} = \frac{A_w}{2} \rho F V_{a \max}^{3-n} \left(1 + \frac{\Delta V_{a \max}}{V_{a \max}} \right)^{3-n} - N_{w \max} \quad (16)$$

чи

$$\begin{aligned} \Delta N_{w \max} &= N_{w \max} \left(1 + \frac{\Delta V_{a \max}}{V_{a \max}} \right)^{3-n} - \\ &- N_{w \max} = N_{w \max} \left[\left(1 + \frac{\Delta V_{a \max}}{V_{a \max}} \right)^{3-n} - 1 \right] \end{aligned} \quad (17)$$

Поділивши ліву та праву частини рівняння (17) на $N_{w \max}$, отримаємо

$$\delta N_{e \max} = (1 + \delta V_{a \max})^{3-n} - 1, \quad (18)$$

де $\delta V_{a \max}$ – відносне збільшення максимальної конструктивної швидкості автомобіля після модернізації, $\delta V_{a \max} = \frac{\Delta V_{a \max}}{V_{a \max}}$;

$\delta N_{e \max}$ – відносне збільшення максимальної ефективної потужності двигуна після модернізації, $\delta N_{e \max} = \frac{\Delta N_{e \max}}{N_{e \max}}$.

Аналіз залежності (18) показує, що при одному і тому ж відносному збільшенні максимальної конструктивної швидкості $\delta V_{a \max}$ автомобіля відносне збільшення максимальної ефективної потужності двигуна $\delta N_{e \max}$ буде тим менше, чим більше значення показника ступеня n при швидкості V_a .

В таблиці 1 приведені значення показника n для автомобілів ВАЗ-2107 та ЗА3-1103 “Славути”, а також 9 автомобілів, що пройшли випробування. Аналіз даних, наведених в таблиці 1, показує, що найбільше значення $n=1,299$ має автомобіль ВАЗ-2111, а найменше $n=0,808$ – Daewoo Lanos. Це означає, що найбільшу ефективність при модернізації з 9 розглянутих автомобілів має ВАЗ-2111, а найменшу – Daewoo Lanos.

Таблиця 1

Значення показника ступеня n для 9 моделей легкових автомобілів, що пройшли випробування

№ п/п	Модель автомобіля	Рік початку випуску	Тип кузова	Показник ступеня n
1	Daewoo Lanos	1997	седан	0,808
2	Toyota Corolla	1998	седан	0,903
3	ВАЗ-2107	1982	седан	0,867
4	ВАЗ-2110	1996	седан	0,878
5	ВАЗ-2121	1977	універсал	0,947
6	ЗА3-1103	1999	лифтбек	1,151
7	ВАЗ-2111	1998	універсал	1,299
8	ВАЗ-2115	1997	седан	1,124
9	Ваз-2170	2006	седан	0,977

На рис. 2 приведені графіки залежностей $\delta N_{e \max}(\delta V_{a \max})$ для 9-ти моделей автомобілів, представлених в таблиці 1. Для порівняння на цьому ж графіку наведена залежність $\delta N_{e \max}(\delta V_{a \max})$ при $n=0$. Аналіз характеру кривих на рисунку 2 показує, що при розрахунку аеродинамічних характеристик автомобілів за традиційною формулою (1)

при $C_x = const$ потрібне відносне збільшення потужності двигуна $\delta N_{e\max}$ при заданому $\delta V_{a\max}$ значно більше, ніж при розрахунку за пропонованою формулою (3).

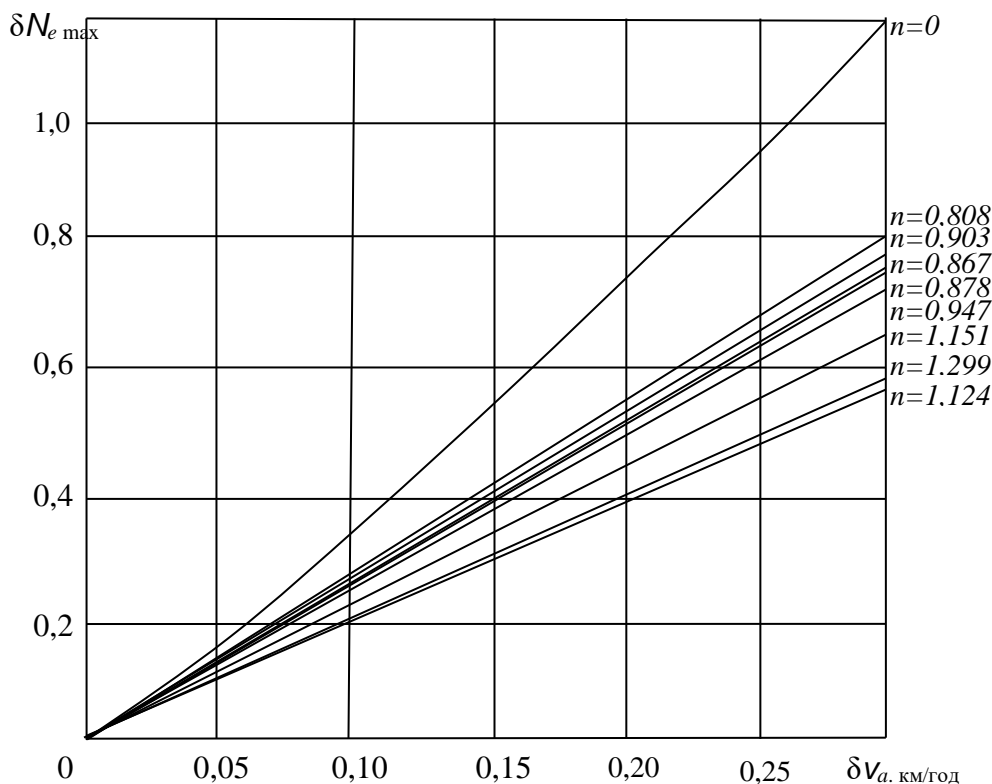


Рис. 2. Залежність $\delta N_{e\max}(\delta V_{a\max})$ при різних значеннях n (див. таблицю 1)

Автомобіль ЗАЗ-1103 “Славута” неодноразово проходив модернізацію, що супроводжувалася збільшенням максимальної ефективної потужності двигуна (таблиця 2).

Таблиця 2

Хронологія етапів модернізації автомобіля ЗАЗ-1103 “Славута”							
№ п/п	Модель автомобіля	Рік початку виробництва	$N_{e\max}$ (кВт)	к.с.	$V_{a\max}$, км/год	$\delta N_{e\max}$	$\delta V_{a\max}$
1	ЗАЗ-1103 1,2МТ	1999	58 (43)		147	1	1
2	ЗАЗ-1103 1,2МТ	2006	62,4 (45,9)		153-156	0,076	0,040
3	ЗАЗ-1103 1,3МТ	2001	46 (33,82)		154	-0,207	0,048
4	ЗАЗ-1103 1,3МТ	2002	66 (48,53)		160	0,138	0,088
5	ЗАЗ-1103 1,3і	2002	72 (52,94)		160	0,241	0,088
6	ЗАЗ-1103 1,1	1999	51 (37,5)		145	-0,121	-0,014
7	ЗАЗ-1103 1,2	2000	58 (42,6)		147	1	1
8	ЗАЗ-1103 1,2і	2006	62,4 (45,9)		153	0,076	0,040

На прикладі автомобіля ЗАЗ-1103 “Славута” розглянемо наскільки результати зміни $N_{e\max}$ та $V_{a\max}$ при модернізації відповідають пропонованому розрахунковому співвідношенню (18). На рис.3 наведений графік залежності $\delta N_{e\max}(\delta V_{a\max})$ для автомобіля ЗАЗ-1103 “Славута”. Точки на графіку відповідають відповідній модернізованій моделі.

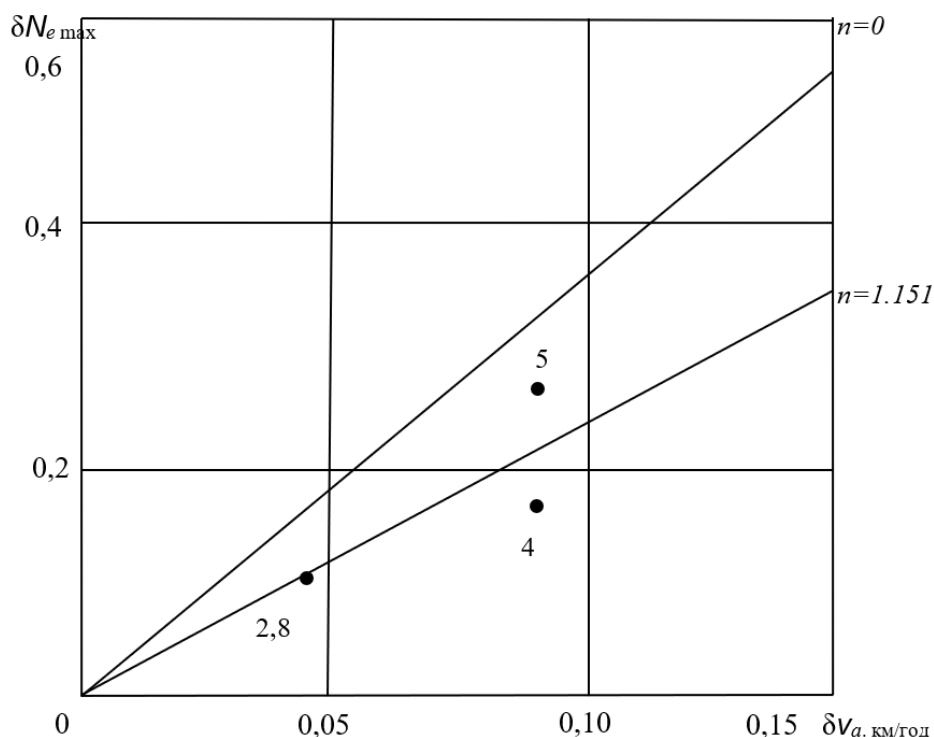


Рис. 3. Залежності $\delta N_{e \max}(\delta V_{a \max})$ для автомобіля ЗАЗ-1103 “Славути” при $n=0$ та $n=1,151$: точками указані модернізовані моделі автомобіля (номер відповідає позиції в таблиці 2)

Аналізуючи положення точок на графіку, представлено на рис.3, робимо наступні висновки:

- параметри автомобілів ЗАЗ-1103 1,2МТ (позиція 2 в табл.2), ЗАЗ-1103 1,2і (позиція 10 в табл.2) і ЗАЗ-1103 1,3МТ (позиція 4 в табл.2) після модернізації шляхом збільшення потужності двигуна відповідають співвідношенню (18).

Слід відмітити, що при модернізації легкового автомобіля шляхом збільшення потужності двигуна та за необхідності збільшення максимальної конструктивної швидкості руху слід або зменшувати передавальне число головної передачі, або додавати прискорюючу передачу.

Висновки

1. Результати проведеного дослідження дозволили визначити, що при змінному, залежному від швидкості коефіцієнті C_x лобовому аеродинамічному опорі, потрібне відносне збільшення максимальної потужності двигуна (при заданому відносному збільшенні максимальної конструктивної швидкості автомобіля) менше, ніж при розрахунку за традиційною методикою, що має $C_x = const$ та $n=0$. Чим вище n , тим менш потрібна величина відносного збільшення максимальної потужності двигуна.

2. З розглянутих 9-ти моделей легкових автомобілів найбільш пристосованими до збільшення потужності двигуна при модернізації є автомобілі Ваз-2115, ВАЗ-2111, ЗАЗ-1103, оскільки забезпечують при заданому відносному збільшенні максимальної конструктивної швидкості найменше збільшення максимальної ефективної потужності двигуна. А автомобіль Daewoo Lanos найменш пристосований до збільшення потужності двигуна.

3. При модернізації легкового автомобіля шляхом збільшення потужності двигуна і при необхідності збільшення максимальної конструктивної швидкості руху має сенс або зменшувати передаточне число головної передачі, або додати в трансмісію прискорюючу передачу.

Список використаних джерел

1. Фалькевич Б.С. Теория автомобиля / Б.С. Фалькевич. – М.: Машгиз, 1963. - 240 с.
2. Аэродинамика автомобиля / Под. ред. В.Г. Глухо, пер. с нем. Н.А. Юниковой; под ред. С.П. Згородникова. – М.: Машиностроение, 1987. - 424 с.
3. Техническая энциклопедия / Бах А.Н., Берштейн-Коган С.В., Вейс А.Л. и др. – Том 1. – М.: Типография Мосполиграф, 1927. - 858 с.
4. Метод парциальных ускорений и его приложения в динамике мобильных машин / Н.П. Артемов, А.Т. Лебедев, М.А. Подригало и др. – Х.: Изд-во “Міськдрук”, 2012. - 220 с.
5. Удосконалення методу експериментально-теоретичного визначення параметрів аеродинамічного опору руху автомобіля / М.А. Подригало, Р.О. Кайдалов, О.В. Літвінов, С.А. Кудімов, А.І. Коробко, Ю.В. Тарасов // Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України. 2019. Вип. 1 (33). – С. 21-30.
6. Пути развития сотрудничества КАМАЗа и НАМИ в области испытаний грузовых автомобилей и автопоездов способом выбега / Д.Х. Валеев, В.С. Карабцев, С.В. Бахшутов, В.А. Петрушов // Журнал автомобильных инженеров, 2014. №5 (88). - с. 28-33
7. Измерение аэродинамического сопротивления движению автомобиля дорожным методом / Э.Х. Рабинович, В.П. Волков, Е.А. Белогуров, Д.В. Никитин // Метрология - 2012. - С. 390-393
8. Подригало М.А. Качение автомобильного колеса и определение понятия “тяговая сила” (в порядке обсуждения) / М.А. Подригало // Автомобильная промышленность. - 2007. - №1. – с. 25-26
9. Asis Abdulgazis and Mikhail Podrigalo. A new approach to assessment of vehicles traction dynamics / JSMTMTE 2020 / JOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 971 (2020) 052100 doi:10.1088/1757-899X/971/5/052100. pp.1-7
10. Гащук П.Н. Энергетическая эффективность автомобиля / П.Н. Гащук – Львов: СВІТ, 1992. – 208 с.

Reference

1. Falkevich B.S. Automobile theory / B.S. Falkevich. - M.: Mashgiz, 1963. -- 240 p.
2. Aerodynamics of the car / Under. ed. V.G. Deaf, trans. with him. ON. Yunikova; ed. S.P. Zgorodnikov. - M.: Mashinostroenie, 1987. -- 424 p.
3. Technical encyclopedia / Bach A.N., Bershtein-Kogan S.V., Weiss A.L. and others - Volume 1. - Moscow: Mospoligraf Printing House, 1927. - 858 p.
4. The method of partial accelerations and its applications in the dynamics of mobile machines. Artemov, A.T. Lebedev, M.A. Podrigalo and others - Kh.: Publishing house "Miskdruk", 2012. - 220 p.
5. Adequate to the method of experimental-theoretical value of the parameters of the aerodynamic support for the ruku of the car / M.A. Podrigalo, R.O. Kaidalov, O. V. Litvinov, S.A. Kudimov, A.I. Korobko, Yu.V. Tarasov // Collection of Science Works of the National Academy of the National Guard of Ukraine. 2019. Vip. 1 (33). - S. 21-30.
6. Ways of developing cooperation between KamAZ and NAMI in the field of testing trucks and road trains by the run-out method / D.Kh. Valeev, V.S. Karabtsev, S.V. Bakhshutov, V.A. Petrushov // Journal of Automotive Engineers, 2014. No. 5 (88). - from. 28-33
7. Measurement of aerodynamic resistance to the movement of the car by the road method / E.Kh. Rabinovich, V.P. Volkov, E.A. Belogurov, D.V. Nikitin // Metrology - 2012. -- P. 390-393
8. M.A. Rolling of an automobile wheel and definition of the concept of “traction force” (in the order of discussion) / M.A. Podrigalo // Automotive industry. - 2007. - No. 1. - from. 25-26
9. Asis Abdulgazis and Mikhail Podrigalo. A new approach to assessment of vehicles traction dynamics / JSMTMTE 2020 / JOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 971 (2020) 052100 doi: 10.1088 / 1757-899X / 971/5/052100. pp.1-7
10. Gaschuk P.N. Energy efficiency of the car / P.N. Gaschuk - Lviv: SVIT, 1992. -- 208 p.