

УДК 629.113-592



М. А. Подригало



Ю. В. Тарасов

## ПРОГНОЗУВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

У статті подано метод прогнозування підвищення показників динамічних властивостей, з використанням якого визначено взаємозв'язок між питомою потужністю та індексом динамічності автомобіля.

*К л ю ч о в і с л о в а:* динамічні властивості, прогнозування, індекс динамічності, вимоги суспільства, випробування автотранспортних засобів.

**Постановка проблеми.** Динамічні властивості характеризуються здатністю автомобілів рухатися за заданим законом під дією прикладених сил. Оцінювання динамічних властивостей автомобілів зводиться до розв'язування другої (прямої) задачі механіки. Проектуючи автомобілі, навпаки, за заданим законом руху автомобіля визначають діючі сили, тобто розв'язують першу (пряму) задачу механіки.

Очевидно, що з плином часу динамічні властивості автотранспортних засобів (АТЗ) повинні удосконалюватися, отже, будуть підвищуватися вимоги до їх оцінювання. Однак вимоги стандартів не можуть безперервно змінюватися протягом деякого часу. Вони мають певний термін дії і можуть або випереджати необхідний рівень вимог, або відставати від них.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Динамічні властивості включають в себе частину експлуатаційних властивостей автомобілів. Вперше поняття “експлуатаційні властивості автомобілів” ввів Е. А. Чудаков у своїх працях [1, 2, 3]. У праці [1] виділені експлуатаційні властивості, які є найбільш важливими з погляду на оцінювання придатності автомобіля для роботи в різних умовах: вантажопідйомність або пасажиромісткість, динамічні або тягові властивості, економічність, запас ходу, надійність, використання ваги, використання габариту, маневреність, стійкість, легкість управління, плавність ходу, легкість догляду за АТЗ.

Нормативи оцінювання динамічних властивостей АТЗ є вираженням вимог суспільства, які на даному часовому етапі зафіксовані у відповідному документі (стандарті, технічних умовах або регламентах). Правильний вибір значень нормативів ефективності, термінів їх дії сприяє підвищенню конкурентоспроможності автотранспортних засобів на світовому ринку [4]. Слід зазначити, що виробник, який здатний прогнозувати розвиток вимог суспільства до того чи іншого показника АТЗ, має високі шанси на успіх.

У статті [5] для оцінювання технічного рівня автомобілів за показниками динамічних властивостей введений новий показник – індекс динамічності, що дорівнює відношенню початкового прискорення при розгоні автотранспортних засобів до аналогічного показника автомобіля-лідера

$$q_i = \frac{\dot{V}_{0i}}{(\dot{V}_0)_{\max}}, \quad (1)$$

де  $\dot{V}_{0i}$  – величина початкового прискорення даного автотранспортного засобу;  $(\dot{V}_0)_{\max}$  – максимальне початкове прискорення автомобіля-лідера.

Також у статті [5] введено індекс динамічності автомобіля-лідера, що дорівнює відношенню початкового прискорення при розгоні автомобіля-лідера до граничного прискорення по зчепленню ведучих коліс з дорогою

$$q_{\text{лід}} = \frac{(\dot{V}_0)_{\text{max}}}{\varphi g}, \quad (2)$$

де  $\varphi$  – коефіцієнт зчеплення ведучих коліс з дорогою;  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – прискорення вільного падіння.

Ступінь досягнення розглянутими автомобілями граничних динамічних можливостей у статті [5] запропоновано оцінювати ступенем досягнення граничного лінійного прискорення

$$q_{\text{шт}} = q_i \cdot q_{\text{лід}}. \quad (3)$$

Проведений аналіз показав, що, незважаючи на різноманіття відомих показників динамічних властивостей, в літературі відсутні критерії, які дозволяють на етапі проектування і проведення випробувань задавати і оцінювати відповідність автомобілів сучасним вимогам динамічності.

**Метою дослідження** є підвищення точності прогнозування показників динамічних властивостей шляхом визначення взаємозв'язку між питомою потужністю та індексом динамічності автомобіля.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

– оцінити взаємозв'язок між питомою потужністю та індексом динамічності автотранспортних засобів;

– визначити залежність прогнозованих значень індексу динамічності і початкових прискорень автотранспортних засобів від глибини прогнозу  $\Delta\Gamma(\Delta\lambda)$ .

**Виклад основного матеріалу.** Слід зазначити, що у статті [5] початкове прискорення розгону визначається через тягову силу на ведучих колесах автомобіля при рушанні з місця. Як відомо, підвищити початкове прискорення при рушанні автомобіля з місця можна шляхом збільшення передавального відношення трансмісії на нижчій передачі. Цей показник не пов'язаний з питомою потужністю двигуна. Тому для прогнозування підвищення показників динамічних властивостей необхідно визначити взаємозв'язок між питомою потужністю та індексом динамічності автотранспортного засобу.

Потужність на ведучих колесах автомобіля може бути визначена як

$$N_K = P_K V_a, \quad (4)$$

де  $V_a$  – лінійна швидкість автотранспортного засобу;  $P_K$  – тягова сила автотранспортного засобу.

Швидкість збільшення потужності на ведучих колесах автомобіля за часом

$$\frac{\partial N_K}{\partial t} = P_K \frac{\partial V_a}{\partial t} + V_a \frac{\partial P_K}{\partial t}. \quad (5)$$

При рушанні з місця  $V_a = 0$  та

$$P_K = m_{\Pi} \frac{\partial V_a}{\partial t}, \quad (6)$$

де  $m_{\Pi}$  – повна маса автотранспортного засобу.

При  $V_a = 0$  і з урахуванням виразу (6) рівняння (5) набиратиме такого вигляду:

$$\frac{\partial N_K}{\partial t} = m_{\Pi} \left( \frac{\partial V_a}{\partial t} \right)^2, \quad (7)$$

вводячи позначення

$$\frac{\partial V_a}{\partial t} = \dot{V}_0, \quad (8)$$

а також, урахувавши співвідношення (1), (2), (3), перетворимо формулу (7) до виду

$$\frac{\partial N_K}{\partial t} = m_{\Pi} \varphi^2 g^2 q^2, \quad (9)$$

де  $q$  – індекс динамічності автотранспортного засобу.

$$q = \frac{\dot{V}_0}{\varphi g}. \quad (10)$$

З рівняння (9) визначимо

$$q = \frac{\sqrt{\frac{\partial N_K}{\partial t} / m_{\Pi}}}{\varphi g}. \quad (11)$$

Припустимо, що потужність на колесах АТЗ зростає за лінійним законом. У цьому випадку

$$N_K = N_{K \max} \frac{t}{t_H}, \quad (12)$$

де  $t$  – час;  $t_H$  – час наростання потужності на колесах від нуля до  $N_{K \max}$ .

Нехтуючи втратами потужності в трансмісії, вважатимемо  $N_{K \max} = N_{e \max}$ .

Диференціюючи вираз (12), отримаємо

$$\frac{\partial N_K}{\partial t} = \frac{N_{e \max}}{t_H}. \quad (13)$$

Підставляючи формулу (13) у вираз (11), отримаємо

$$q = \frac{\sqrt{\frac{N_{e \max}}{t_H m_{\Pi}}}}{\varphi g} = \frac{1}{\varphi g} \sqrt{\frac{N_{\text{пит}}}{t_H}}. \quad (14)$$

У розрахунках за формулою (14) слід брати  $q$  для випадку руху автомобіля по дорозі з твердим асфальтобетонним покриттям, тобто  $\varphi = 0,8$ .

Аналіз виразу (14) показує, що індекс динамічності залежить від часу  $t_H$  наростання ефективної потужності двигуна від нуля до  $N_{e \max}$  за гіперболічним законом (рис. 1)

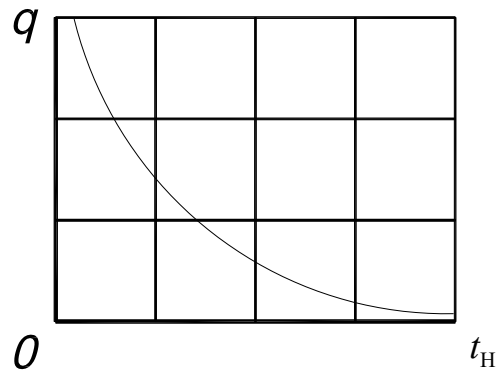


Рис. 1. Залежність індексу динамічності  $q$  від часу наростання  
потужності на колесах  $t_H$  від нуля до  $N_{K_{\max}}$

Очевидно, що величина  $q$  у рівнянні (14) не повинна перевищувати одиниці. Інакше відбудеться буксування ведучих коліс і стійкість поступального руху автомобіля буде порушена. З умови  $q \leq 1$  за допомогою рівняння (14) визначимо

$$t_H \geq \frac{N_{\text{пит}}}{\varphi^2 g^2}. \quad (15)$$

Таким чином, час наростання  $t_H$  ефективної потужності двигуна від нуля до свого максимального значення є параметром, що також визначає динамічні властивості автотранспортного засобу.

Припустимо, що  $t_H$  дорівнює часу розгону  $t_{pvm}$  до максимальної швидкості  $V_{a_{\max}}$ . Оскільки в технічній літературі наводяться дані часу розгону  $t_{p100}$  автотранспортного засобу до швидкості  $V_a = 100$  км/год, то шуканий час може бути визначено за такою формулою:

$$t_H = t_{pvm} = t_{p100} \frac{3,6V_{a_{\max}}}{100} = \frac{t_{p100}V_{a_{\max}}}{27,8}, \quad (16)$$

де  $V_{a_{\max}}$  – максимальна конструктивна швидкість автотранспортного засобу, м/с.

$$V_{a_{\max}} = 161,67 \{1,043 - \exp[-(0,382 \pm 0,14)(\lambda_0 + \Delta\lambda)]\}, \quad (17)$$

де  $\lambda_0$  – відносний час, що відповідає моменту початку проектування автотранспортного засобу;  
 $\Delta\lambda$  – зміна відносного часу, що відповідає тривалості проектування, випуску і терміну служби автотранспортного засобу.

Підставляючи формулу (17) у вираз (16), отримаємо

$$t_H = t_{pvm} = 5,815 t_{p100} \{1,043 - \exp[-(0,382 \pm 0,14)(\lambda_0 + \Delta\lambda)]\}. \quad (18)$$

Рівняння (14) після підстановки в нього виразу (18) набиратиме вигляду

$$q = \frac{10,26}{\varphi g} \sqrt{\frac{(1 \pm 0,128) \{1,043 - \exp[-0,382(1 \pm 0,366)(\lambda_0 + \Delta\lambda)]\}}{t_{p100}}}. \quad (19)$$

Граничні значення  $q$  :

$$q_{\max} = \frac{10,997}{\varphi g} \sqrt{\frac{\{1,043 - \exp[-0,521(\lambda_0 + \Delta\lambda)]\}}{t_{P100}}}, \quad (20)$$

$$q_{\min} = \frac{9,581}{\varphi g} \sqrt{\frac{\{1,043 - \exp[-0,242(\lambda_0 + \Delta\lambda)]\}}{t_{P100}}}. \quad (21)$$

Середнє значення показника  $q$  :

$$\bar{q} = \frac{10,26}{\varphi g} \sqrt{\frac{\{1,043 - \exp[-0,382(\lambda_0 + \Delta\lambda)]\}}{t_{P100}}}. \quad (22)$$

На рис. 2 наведені графіки залежностей  $\bar{q}(\Delta\lambda)$ ,  $q_{\max}(\Delta\lambda)$  та  $q_{\min}(\Delta\lambda)$ , побудовані для  $t_{P100} = 10$  с. Вибране значення  $t_{P100}$  відповідає досягнутим результатам для АТЗ у наш час.

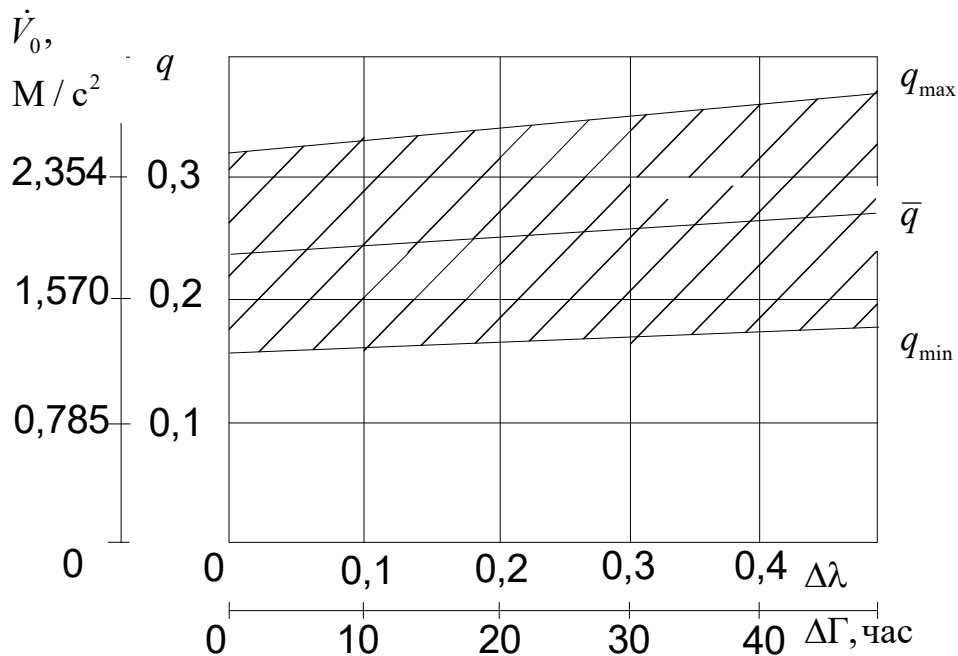


Рис. 2. Залежності прогнозованих значень індексу динамічності і початкових прискорень АТЗ від глибини прогнозу  $\Delta\Gamma(\Delta\lambda)$

### Висновок

Отримані аналітичні вирази дозволяють прогнозувати на етапі попереднього проектування показники динамічних властивостей автотранспортних засобів. А саме: залежність індексу динамічності  $q$  від часу наростання потужності на колесах  $t_H$  від нуля до  $N_{K \max}$ .

### Перелік джерел посилання

1. Чудаков Е. А. Теория автомобиля. Москва: ОНТИ–НКТП СССР, 1935. 392 с.
2. Чудаков Е. А. Теория автомобиля. Москва: Машгиз, 1940. 396 с.
3. Чудаков Е. А. Теория автомобиля. Москва: Машгиз, 1950. 343 с.

4. Лаптев С. А. Комплексная система испытаний автомобилей: формирование, развитие, стандартизация. Москва: Изд-во стандартов, 1991. 172 с.

5. Подригало М. А., Клец Д. М., Мостовая А. Н. Оценка технического уровня по показателям динамических свойств автомобилей. *Вісник Національного транспортного університету*: наук.-техн. зб. Київ, 2012. Вип. 25. С. 226–223.

*Стаття надійшла до редакції 30.10.2019 р.*

**УДК 629.113-592**

**М. А. Подригало, Ю. В. Тарасов**

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

*В статье представлен метод прогнозирования повышения показателей динамических свойств, с использованием которого определена взаимосвязь между удельной мощностью и индексом динамичности автомобиля.*

*К л ю ч е в ы е с л о в а:* динамические свойства, прогнозирование, индекс динамичности, требования общества, испытание автотранспортных средств.

**UDC 629.113-592**

**M. Podrigalo, Yu. Tarasov**

## **FORCASTING OF DYNAMIC PROPERTIES OF VEHICLES**

*Dynamic properties are characterized by the ability of vehicle to move according to a given law under the action of applied forces. Assessment of vehicle dynamic properties comes down to solving the 2nd (direct) problem of mechanics. In the designing vehicles, on the contrary, according to a given law of vehicle motion, the acting forces are determined, that is solving the 1st (direct) problem of mechanics. The standards for assessing the dynamic properties of vehicles are an expression of the requirements of the company, at this time stage, fixed in the relevant document (standard, technical conditions or regulations). The correct choice of the efficiency standards values, their terms of action helps to increase the competitiveness of vehicle in the world market.*

*In the work of Podrygalo M.A. (assessment of the technical level by indicators of the vehicle dynamic properties) to assess the technical level of cars by indicators of dynamic properties, a new indicator has been introduced – the dynamic index  $q_i$ .*

*The analysis showed that, despite the variety of known dynamic properties indicators, there are no criteria in the literature that allow, at the design and testing stages, setting and evaluating the compliance of vehicles with modern requirements for dynamism. The purpose of the study is to increase the accuracy of predicting dynamic property indicators by determining the relationship between power density and vehicle dynamic index.*

*It should be noted that in the work of Podrygalo M.. (assessment of the technical level by indicators of the vehicle dynamic properties) the initial acceleration is determined through the traction force to the driving wheels of vehicle when starting. As we know, it is possible to increase the initial vehicles acceleration when starting by increasing the gear ratio of the transmission in lower gear. This indicator is not related to engine power density. Therefore, in order to predict the increasing of dynamic properties, it is necessary to determine the relationship between power density and vehicle dynamic index*

*Analyzing the dependence of dynamic index  $q_i$  shows that it depends on the time  $t_H$  of increasing effective engine power from zero to  $N_{e_{max}}$  according to the hyperbolic law.*

*Obviously, the value  $q$  should not exceed unity. Otherwise, drive wheels will drag and the stability of vehicle translational movement will be violated.*

*Thus, the rise time  $t_H$  of the effective engine power from zero to its maximum value is a parameter that also determines vehicle dynamic properties.*

*Conclusions – the obtained analytical expressions allow us to predict at the stage of preliminary design indicators of vehicles dynamic properties. Namely: the dependence of the dynamic index  $q$  on the time  $t_H$  of the increase in power to wheels from zero to  $N_{K \max}$ .*

*K e y w o r d s: dynamic properties, prediction, dynamic index, society requirements, vehicle test.*

**Подригало Михайло Абович** – доктор технічних наук, професор, головний науковий співробітник науково-дослідного центру службово-бойової діяльності НГУ Національної академії Національної гвардії України.

<http://orcid.org/0000-0002-1624-5219>

**Тарасов Юрій Володимирович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри підготовки офіцерів запасу Національної академії Національної гвардії України.

<http://orcid.org/0000-0003-4562-7838>