

## РОЗРАХУНКОВА МОДЕЛЬ ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ РУХУ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ АВТОТРАКТОРНОГО ТИПУ

**Варваров Л.М., проф., к.т.н.**

*Харківський національний технічний університет  
сільського господарства імені Петра Василенка*

*На основі рівняння тягового балансу наданий аналіз підходів до визначення швидкості руху транспортного засобу у різних дорожніх умовах та розроблені рекомендації щодо її аналітичного визначення.*

**Вступ.** Однією з найважливіших проблем підвищення ефективності експлуатації транспортних засобів автотракторного типу є проблема збільшення технічних швидкостей руху. Якщо не брати до уваги питання організації транспортних робіт і технічний стан мобільної техніки, то збільшення швидкості руху забезпечує поліпшення практично усіх експлуатаційних показників, і що є особливим – підвищується видатність транспортних засобів і зменшується собівартість перевезень.

Практика експлуатації автотракторних транспортних засобів свідчить за те, що основними факторами, які визначають швидкість руху машини є стан дороги і режими роботи її моторно – трансмісійної установки. З огляду на сучасні можливості теорії тракторів і автомобілів, оптимізація їх техніко – економічних показників зазвичай проводиться з використанням розрахунково – графічних методик, в основу яких укладені відомі алгоритми визначення тягових і паливних характеристик машини. При цьому вихідні дані, як правило, базуються на параметрах зовнішньої характеристики двигуна, що не завжди є дістанім. Ряд параметрів необхідно приймати з баз даних, представлених у вигляді таблиць або графіків, а це не є зручним, особливо при використанні сучасних обчислювальних засобів. Існуючі аналітичні залежності, у більшості, достатньо формалізовані і не враховують реальних умов експлуатації.

**Аналіз основних публікацій досліджень.** Основним показником умов виконання транспортних робіт є дорожні умови. Взагалі вони визначаються елементами профілю та плану, рельєфом місцевості, видом та рівністю покриття та режимами руху.

Дорожні умови в силу їх значної різноманітності зазвичай поділяються на типові групи із загальними, характерними для кожної з них ознаками. Основні принципи оцінки дорожніх умов є стандартизованими і закріплені в будівельних нормах, відповідно до яких усі дороги загального користування транспортної мережі в залежності від інтенсивності швидкості руху транспортних засобів, кількості і ширини смуг руху, значення найбільших поздовжніх ухилів і т. д., підрозділяються на п'ять технічних категорій [1]. Оскільки для кожної з категорій дорожньо – будівельні норми вказуються тільки граничні значення розглянутих параметрів, то, очевидно, характеристики

умов руху по дорогах відповідних категорій можуть бути використані тільки для проєктованих та споруджуваних доріг.

В умовах реальної експлуатації значно змінюється міра рівності покриття, тобто мікропрофіль дороги, що суттєво впливає на опір коченню коліс, плавність руху машини і т.ін. Ці показники слід розглядати як випадкові функції, які змінюється на протязі навіть певного маршруту. З теорії колісних машин відомо, що значення цієї функції визначається двома показниками: коефіцієнтом опори руху –  $f$  та похилом шляху –  $i$ . Сукупний вплив цих параметрів може бути показаний сумарним коефіцієнтом опори руху –  $\psi=f+i$ .

Відповідно до цих параметрів найбільш ґрунтовною, на наш погляд, є класифікація ХНАДУ яка передбачає, що за шляховими умовами дороги поділяються на ряд підкласів [2]. Частина з них передбачає розподіл доріг по похилому профілю (рівнинне, хвилясте, горбисте, низькогір'я, перевальне), частина – по типу та стану дорожнього покриття (відмінне, добре, задовільне, погане, бездоріжжя). До кожного з підкласів надаються межі зміни визначальних параметрів –  $f, i$ . Так за класифікацією ХНАДУ рівнинна дорога у відмінному стані оцінюється сумарним коефіцієнтом опору руху  $\psi=0,020\dots0,023$ , а хвиляста у поганому стані –  $\psi=0,048\dots0,050$ . Окрім того, рекомендується при визначенні швидкості руху вводити поправочний коефіцієнт  $K_v$ , значення якого залежить від параметрів дороги. Так для рівнинних доріг  $K_v=1\dots0,8$ ; для хвилястих –  $K_v=0,8\dots0,6$  і т.д. Відповідні коефіцієнти зниження швидкості руху приводяться і для доріг, що відрізняються за типом та станом покриття (табл.1).

Таблиця 1 - Значення параметрів, що характеризують дорожні умови

Дорожні умови		Сумарний коефіцієнт опору – $\psi$		$K_v$
		Межі змінювання	Середнє значення	
Рівнинна дорога	Відмінний стан	0,014...0,040	0,027	1...0,8
	Добрий стан	0,018...0,044	0,031	0,8...0,62
	Задовільний стан	0,022...0,050	0,036	0,62...0,52
	Поганий стан	0,028...0,056	0,042	0,52...0,45
	Бездоріжжя	0,014...0,064	0,053	<0,45
Хвиляста дорога	Відмінний стан	0,036...0,055	0,046	1...0,8
	Добрий стан	0,040...0,059	0,050	0,8...0,62
	Задовільний стан	0,044...0,065	0,054	0,62...0,52
	Поганий стан	0,050...0,071	0,061	0,52...0,45
	Бездоріжжя	0,056...0,079	0,068	<0,45

При очевидній зручності користування класифікацією ХНАДУ – можливість визначати характеристику дороги певним сполученням чинників, слід відмітити, що при визначенні коефіцієнту зміни швидкості руху не враховані вагові показники транспортного засобу. Не приділено достатньої уваги і режимам роботи моторно – трансмісійної установки.

Підхід при моделюванні швидкості руху вантажного автомобіля з

урахуванням згаданих чинників був використаний у роботі [3], але внаслідок нехтуванням при русі величиною опору повітря, похибки кінцевих результатів були достатньо значні (8...12 %).

Рівень розвитку теорії транспортних засобів автотракторного типу та їх двигунів дозволяє зазначені залежності визначати аналітично. Математичні моделі, які при цьому використовуються, звичайно являють собою синтез рівнянь руху транспортного засобу та відповідних характеристик двигуна

**Мета дослідження** – встановлення аналітичних залежностей факторів, що визначають режими руху, у формати придатному для використання сучасних засобів обчислювальної техніки.

**Результати дослідження.** Аналітичний розрахунок режимів руху в різних дорожніх умовах проводився з використанням рівняння тягового балансу, яке до цілей дослідження можна надати у вигляді, що дозволяє визначити величину крутного моменту двигуна –  $M_\delta$ , необхідного для додання певного опору шляху –  $\psi$ , із заданою швидкістю руху транспортного засобу –  $V$ :

$$M_\delta = \frac{(G_a \cdot \psi + kF \cdot V^2) \cdot V}{\eta_{тр} \cdot \omega_\delta}, \quad (1)$$

де  $G_a$  – експлуатаційна вага машини;  
 $kF$  – фактор опору повітря;  
 $\eta_{тр}$  – ККД трансмісії;  
 $\omega_\delta$  – частота обертання колінчастого валу двигуна,  $c^{-1}$ .

В основу методики дослідження укладена теза щодо взаємозв'язку крутного моменту двигуна і швидкості руху машини. Так додання зростаючого опору дороги вимагає збільшення моменту, що здійснюється або за рахунок зменшення частоти обертання колінчастого валу, або переходом на нижчу робочу передачу трансмісії. І у першому, і другому випадках має місце зниження швидкості руху машини.

Розрахунковий експеримент проводився до вантажного автомобіля 6-го класу (прототип автомобіль КрАЗ-6510, двигун ЯМЗ-236). Основні вихідні дані такі:  $G_a = 220,7$  кН;  $kF = 0,0041$  кН·с<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>;  $N_{e,ном} = 176,5$  кВт;  $\omega_{\delta,ном} = 220$  с<sup>-1</sup>;  $\eta_{тр} = 0,89$ ;  $V = 10; 15; 20; 25$  м/с.

Діапазон розглядання дорожніх умов прийнятий таким, що складає  $\psi = 0,02...0,05$ . Це відповідає характеристикам доріг центральних регіонів України і кореспондується з рекомендаціями [2].

Розрахункові параметри режиму роботи двигуна, що забезпечують рух автомобіля типу КрАЗ на дорозі з певним опором і на заданій швидкості, представлені на рис.1. Там же надана зовнішня швидкісна характеристика двигуна ЯМЗ-236 –  $N_e = f(\omega_\delta)$ .

Взагалі, дані рис.1 відповідають існуючим уявленням про роботу транспортних засобів – більш “важкі” дорожні умови і більш високі швидкості руху вимагають і більших значних потужносних параметрів двигуна. Так рух автомобіля з повним ваговим навантаженням зі швидкістю  $V = 10$  м/с на дорозі,

яка характеризується опором  $\psi = 0,05$ , забезпечується роботою двигуна ЯМЗ-236 на режимі зовнішньої характеристики, що є близьким до максимального крутного моменту  $M_{\delta} \approx 1,0$  кН·м. “Полегшення” дороги до  $\psi < 0,05$ , так і збільшення швидкості руху може вже забезпечуватися режимами часткових характеристик. Граничними режимами для двигуна типу ЯМЗ-236 навіть по дорозі із рівнем опору –  $\psi = 0,02$ , є режими руху автомобіля із швидкістю  $V \approx 20$  м/с. Отже, якісний взаємозв’язок крутного моменту двигуна і швидкості руху автомобіля є достатньо очевидним.

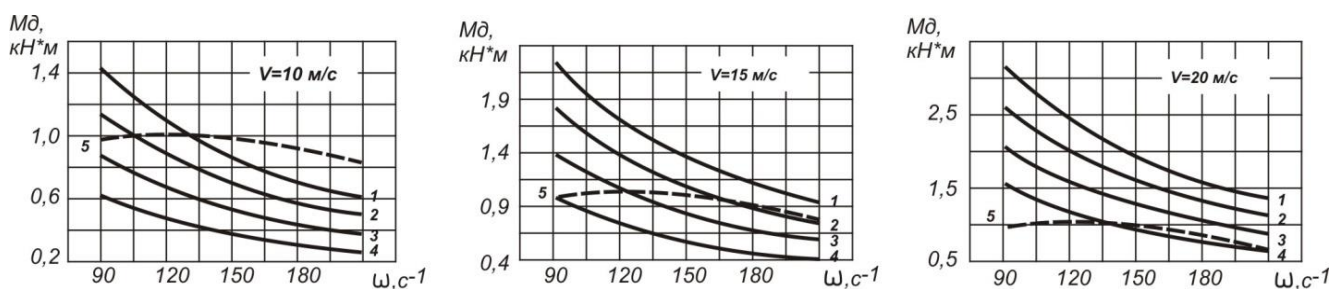


Рис. 1 – Потужносні параметри двигуна, які забезпечують рух автомобіля типу КраЗ у різних дорожніх умовах: 1 -  $\psi = 0,05$ ; 2 -  $\psi = 0,04$ ; 3 -  $\psi = 0,03$ ; 4 -  $\psi = 0,02$ ; 5 – зовнішня характеристика двигуна ЯМЗ-236

При встановленні кількісної оцінки цього взаємозв’язку слід звернути увагу на те, що темп зростання крутного моменту двигуна по мірі збільшення сумарного коефіцієнта опору дороги є майже однаковим і практично не залежить від швидкісного режиму двигуна. Тому можна припустити, що величина темпу зростання крутного моменту є величиною зворотною до швидкості руху транспортного засобу.

Визначення абсолютної величин темпу зростання проводимо з таких міркувань. Максимальна або розрахункова швидкість руху може бути реалізована при русі на рівнинній дорозі у відмінному стані –  $\psi \approx 0,02$  (табл. 1). При цьому поправочний коефіцієнт корегування швидкості руху (поправочний коефіцієнт) складає  $K_v = 1 \dots 0,8$ . Отже, відношення моменту при  $\psi = 0,02$  ( $M_{\delta,0,02}$ ) до моментів, які має бути реалізовані на дорогах із  $\psi \geq 0,02$  ( $M_{\delta,i}$ ) можуть розглядатися як коефіцієнти зниження швидкості руху:

$$K_m = \frac{M_{\delta,0,02}}{M_{\delta,i}} \quad (2)$$

Розрахунок коефіцієнтів  $K_m$  до різних опорів дороги і русі із різними швидкостями приведений у табл.2.

Внаслідок того, що середньоквадратичне відхилення отриманих значень  $K_m$  незначне і дорівнює для  $\psi=0,03$  –  $\sigma = 0,073$ ; для  $\psi=0,04$  –  $\sigma = 0,090$ ; для  $\psi=0,05$  –  $\sigma = 0,091$ , а для  $\psi=0,02$  взагалі  $\sigma = 0$ , а також для спрощення розрахунків швидкостей руху машини, вводимо до кожної з дорожніх умов середньозважені значення коефіцієнтів зниження швидкості руху –  $K_{m,ср}$  (табл.3).

Таблиця 2 – Розрахунок коефіцієнтів  $K_M$  для автомобіля 6 класу

V, м/с	$K_M$			
	$\psi=0,02$	$\psi=0,03$	$\psi=0,04$	$\psi=0,05$
10	1,000	0,686	0,522	0,421
15	1,000	0,707	0,547	0,446
20	1,000	0,733	0,578	0,477
25	1,000	0,760	0,612	0,513
$\sigma$	0	0,073	0,090	0,091

Таблиця 3 – Значення середньозважених коефіцієнтів зниження швидкості руху –  $K_{M.c.p}$ 

Клас (прототип) автомобіля	$K_{M.c.p}$			
	$\psi=0,02$	$\psi=0,03$	$\psi=0,04$	$\psi=0,05$
3 (ГАЗ-53)	1,000	0,785	0,649	0,554
4 (ЗИЛ-130)	1,000	0,769	0,626	0,529
5 (КамАЗ-5310)	1,000	0,742	0,591	0,492
6 (КрАЗ-6510)	1,000	0,721	0,564	0,464

Коефіцієнт зниження швидкості руху для умов, що характеризуються сумарним опором дороги –  $\psi=0,02$ , становитиме  $K_{M.c.p} = 1$ , тобто дійсна швидкість машини дорівнює теоретичній, яка визначається по відомій з теорії тракторів і автомобілів формулі :  $V_m = \omega_d \cdot r_k / U_{mp}$  (де  $r_k$  – радіус кочення ведучого колеса;  $U_{mp}$  – передаточне число трансмісії). Подальше погіршення дорожніх умов призведе до зменшення швидкості руху і у тім більшої мірі, чим вище клас автомобіля, тобто більша його повна вага.

З огляду на наведене, для визначення дійсної швидкості руху засобу в заданих дорожніх умовах можна використовувати таку залежність:

$$V_d = V_m \cdot K_{M.c.p}. \quad (3)$$

Розрахунки, аналогічні щодо автомобіля КрАЗ -6510 (6 клас), були проведені до автомобілів КамАЗ-5310 (5 клас), ЗИЛ-130 (4 клас), ГАЗ-53 (3 клас). В результаті були встановлені значення середніх коефіцієнтів зниження швидкості руху –  $K_{M.c.p}$ . Кінцеві дані розрахунків представлені у табл. 3, а відповідні залежності – на рис. 2.

Попередній аналіз кривих  $K_{M.c.p} = f(\psi)$  на рис. 2 показав, що вони достатньо точно апроксимуються формулою квадратного тричлена. Похибка апроксимації кривих формулами, які представлені далі, не перевищує 1,5...2%. Формули для визначення величини середніх коефіцієнтів зниження швидкості руху  $K_{M.c.p}$  в залежності від рівня опору дороги  $\psi$  такі:

- для автомобілів 3 класу

$$K_{M.c.p.} = 300 \cdot \psi^2 - 35,7 \cdot \psi + 1,6; \quad (4)$$

- для автомобілів 4 класу

$$K_{M.c.p.} = 335 \cdot \psi^2 - 39 \cdot \psi + 1,65; \quad (5)$$

- для автомобілів 5 класу

$$K_{м.ср.} = 398 \cdot \psi^2 - 44,5 \cdot \psi + 1,7; \quad (6)$$

- для автомобілів 6 класу

$$K_{м.ср.} = 448 \cdot \psi^2 - 49 \cdot \psi + 1,8. \quad (7)$$

Як ілюстрація значимості проведених досліджень з точки зору необхідності корегувати швидкість руху в залежності від стану дороги, були проведені додаткові розрахунки швидкостей руху автомобіля типу КрАЗ-6510 при роботі на IV (прямій) передачі у дорожніх умовах, які незначно відрізняються одне від одного.

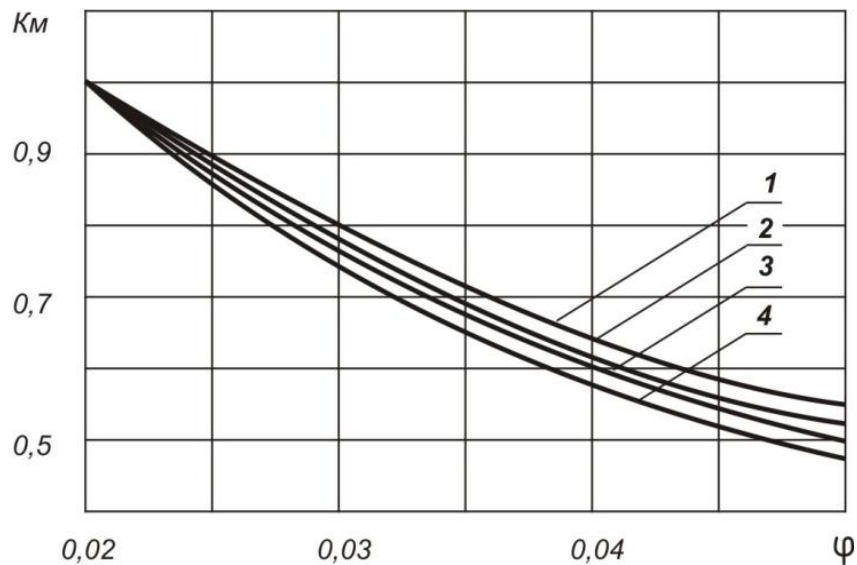


Рис.2 – Залежності  $K_{м.ср.} = f(\psi)$  для автомобілів різних класів:  
1 – 3 клас; 2 – 4 клас; 3 – 5 клас; 4 – 6 клас

Як вихідні, прийняті такі дані: радіус кочення коліс  $r_k = 0,535$  м; передавальне число трансмісії  $U_{mp} = 8,21$ ; номінальна частота обертання колінчастого валу  $\omega_0 = 210 \text{ с}^{-1}$ ; частота обертання колінчастого валу на режимі максимального крутного моменту  $\omega_0 = 140 \text{ с}^{-1}$ ; сумарний коефіцієнти опору дороги –  $\psi_0 = 0,020$ . Порівняльні режими відзначалися такими значеннями опорів дороги –  $\psi_1 = 0,018$   $\psi_2 = 0,022$ . Теоретична швидкість руху автомобіля розраховувалася за формулою  $V_m = \omega_0 \cdot r_k / U_{mp}$ , дійсна – за формулою (3), значення коефіцієнтів  $K_{м.ср.}$  – за формулою (7).

Графічна інтерпретація результатів розрахунків представлена на рис. 3 у вигляді, так званих, променевих діаграм швидкості руху машини.

З наведеного очевидно, що навіть такі незначні коливання сумарного опору, як  $\Delta\psi = \pm 0,002$ , викликають зміну швидкості руху до  $\pm 6\%$ . Це підтверджує достатність прийнятої у даному дослідженні гіпотези про пропорційність зв'язку рівня крутного моменту двигуна, який є необхідним для додання певного опору дороги, і швидкості руху транспортного засобу.

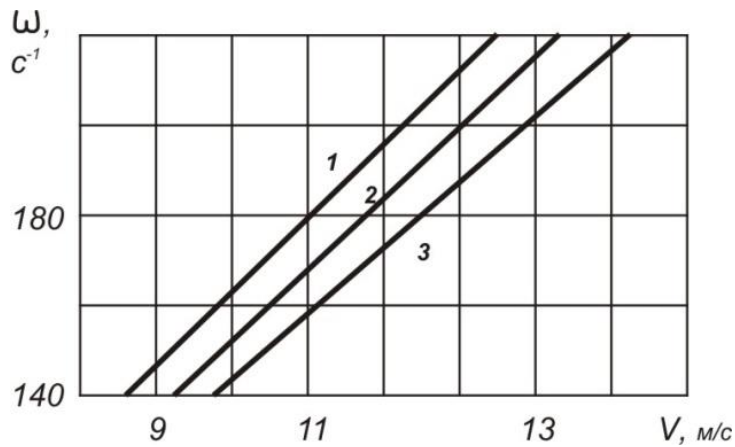


Рис. 3 – Променеві діаграми швидкості руху автомобіля типу КрАЗ:  
 1 –  $\psi=0,018$ ; 2 –  $\psi=0,020$ ; 3 –  $\psi=0,022$

Слід зазначити, що представлені результати торкалися тільки транспортних засобів з повним ваговим навантаженням, у той час, коли вплив рівня вагового навантаження на швидкість руху безумовно є достатньо значимим. З огляду на це були проведені відповідні розрахункові дослідження, за якими встановлено, що при аналізі роботи автомобіля з неповним завантаженням (наприклад  $\sim 0,5 G_{гр.ном.}$ ), можна використовувати дані по значенням коефіцієнтів  $K_{м.ср.}$  для автомобіля попереднього класу при повному ваговому навантаженні.

## Висновки

1. Темп зростання крутного моменту двигуна по мірі збільшення сумарного коефіцієнта опору дороги є майже однаковим і практично не залежить від швидкості руху транспортного засобу.
2. Відношення крутного моменту двигуна, який є необхідним для долання опору дороги при  $\psi = 0,02$ , до моментів, що мають бути реалізовані на дорогах із  $\psi \geq 0,02$  можуть розглядатися як коефіцієнти зниження швидкості руху транспортного засобу у певних дорожніх умовах.
3. Для обчислення дійсних швидкостей руху транспортних засобів рекомендується використовувати коефіцієнти зниження швидкості руху, визначення яких рекомендується проводити за формулами (4), (5), (6), (7).

## Список використаних джерел

1. Державні будівельні норми України. Автомобільні дороги [Текст]. – ДБН В.2.3. – 4 – 2000. Держбуд. України, К., 2000. – 115 с.
2. Говорущенко, Н.Я. Системотехника транспорта (на примерах автомобильного транспорта). [Текст] / Н.Я. Говорущенко, А.Н. Туренко. - Харьков: РИО ХГАДТУ, 1999. – 468 с.
3. Павленко, В.А. Математическая модель эксплуатационного расхода топлива. [Текст] / - Харьков: ХНАДУ. Сб.науч.тр. – 2002. – Вып.9 – С.97-100.

## **Аннотация**

### **РАСЧЕТНАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА АВТОТРАКТОРНОГО ТИПА**

Варваров Л.Н.

*На основе уравнения тягового баланса представлен анализ подходов к определению скорости движения транспортного средства в различных дорожных условиях и разработаны рекомендации по ее аналитическому определению.*

## **Abstract**

### **CALCULATION MODEL OF DEFINITION OF SPEED OF MOVEMENT VEHICLE TYPE TRACTOR**

L. Varvarov

*On the basis of the equation of balance of traction presents an analysis of approaches to the definition of speed of movement of the vehicle in different road conditions and developed recommendations for its analytical definition.*