

**Страшний І.Л.,**

кандидат військових наук, доцент,  
провідний науковий співробітник  
науково-дослідної лабораторії  
Військового інституту танкових військ  
НТУ «ХП»

(м. Харків, Україна)

**Варакута М.В.,**

науковий співробітник науково-  
дослідної лабораторії Військового  
інституту танкових військ НТУ «ХП»

(м. Харків, Україна)

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ТЯГОВОЇ ДИНАМІЧНОСТІ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ MATHCAD**

Тягово-швидкісні властивості автомобіля – це властивості, що визначають діапазони зміни швидкостей руху, максимальних прискорень розгону і граничних кутів підйому в різних дорожніх умовах під час роботи у тяговому режимі, за якого від двигуна до ведучих коліс через трансмісію підводяться потужність і крутний момент, необхідні для руху. Одним з основних показників тягово-швидкісних властивостей є динамічність автомобіля, яка визначає його здатність виконувати транспортну роботу з максимально можливою середньою швидкістю.

Тягово-швидкісні властивості мають важливе значення для експлуатації автомобіля, оскільки за сприятливих тягово-швидкісних властивостей зростає середня швидкість, зменшуються витрати часу на перевезення вантажу і пасажирів і, відповідно, підвищується продуктивність автомобіля.

Основними показниками, що дозволяють оцінювати тягово-швидкісні властивості автомобіля, є: максимальна швидкість руху; час розгону з місця до максимальної швидкості; шлях розгону з місця до максимальної швидкості; мінімальна стійка швидкість на нижчій передачі; максимальне й середнє прискорення під час розгону на кожній передачі у коробці передач; максимальний підйом, який долає автомобіль на нижчій передачі з постійною швидкістю і деякі інші. Середню швидкість безперервного руху можна використовувати як узагальнений оціночний показник тягової динамічності автомобіля [1]. Вона залежить від умов руху і визначається з урахуванням усіх

його режимів, кожний з яких характеризується відповідними показниками тягово-швидкісних властивостей.

Теоретично основні показники тягово-швидкісних властивостей як на етапі проектування, так і під час перевірочних розрахунків, визначаються за результатами виконання комплексу розрахункових і графічних завдань, який називають тяговим розрахунком автомобіля. Загальноприйнятим на сьогодні є графоаналітичний метод виконання тягового розрахунку [2], який має певні недоліки, основними з яких можна вважати: громіздкість і значний обсяг розрахункових задач; складність і достатньо низьку точність побудови графіків, які є важливою частиною тягового розрахунку; значні витрати часу у разі необхідності оцінювання впливу зміни початкових даних на тягову динамічність автомобіля, що суттєво обмежує можливості ітераційних досліджень.

Створення коректних моделей та методик тягового розрахунку з використанням сучасних програмних засобів є актуальним завданням, вирішення якого буде сприяти зниженню строків і вартості робіт, спрямованих на оптимізацію параметрів автобронетанкової техніки.

Авторами проведена коректна адаптація відомих формульних співвідношень тягового розрахунку [2, 3] до їх використання у програмному середовищі Mathcad. Також, з урахуванням особливостей розрахунків і графічних побудов у програмному середовищі Mathcad, вперше розроблені формульні співвідношення для розрахунку та побудови номограми навантажень, ліній графіка контролю буксування та графіка часу розгону автомобіля.

Як приклад, на рис. 1 наведена реалізована у Mathcad формульна схема розрахунку динамічного фактора автомобіля MAN 13.320, необхідного для побудови динамічної характеристики – однієї з найбільш важливих характеристик, що використовуються для оцінювання тягової динамічності автомобіля. При цьому враховано, що документ Mathcad – це складне логічно активне програмне середовище, тому значення змінних повинні бути введені раніше (вище або справа) ніж вираз для функції у яку вони входять.

Початкові дані (повна вага автомобіля, характеристики двигуна, трансмісії, шин та дороги, габаритні розміри)

$G_a := 137340$      $N_{max} := 235$      $\omega_N := 240$      $U_{k1} := 12.33$      $U_{k2} := 9.59$      $U_{k3} := 7.44$   
 $U_{k4} := 5.78$      $U_{k5} := 4.57$      $U_{k6} := 3.55$      $U_{k7} := 2.7$      $U_{k8} := 2.1$      $U_{k9} := 1.63$   
 $U_{k10} := 1.27$      $U_{k11} := 1.0$      $U_{k12} := 0.78$      $U_{pk} := 0.983$      $U_o := 4.83$      $B_1 := 2.24$   
 $H_a := 3.119$      $b := 0.395$      $d := 0.508$      $\Delta := 0.85$      $\eta_{tp} := 0.9$      $f := 0.02$

Діапазон зміни кутової швидкості колінчастого вала

$\omega_{e\_min} := \text{ceil}(0.2 \cdot \omega_N)$      $\omega_{e\_max} := 1.0 \cdot \omega_N$      $\omega_e := \text{ceil}(\omega_{e\_min}) .. \text{ceil}(\omega_{e\_max})$

Крутний момент двигуна     $M_{e_{\omega_e}} := \frac{N_{max} \cdot \left[ 0.53 \cdot \frac{\omega_e}{\omega_N} + 1.56 \cdot \left( \frac{\omega_e}{\omega_N} \right)^2 - 1.09 \cdot \left( \frac{\omega_e}{\omega_N} \right)^3 \right] \cdot 10^3}{\omega_e}$

Тягова сила на ведучих колесах     $P_{k_{\omega_e, x}} := \frac{M_{e_{\omega_e}} \cdot 10^{-3} \cdot U_{kx} \cdot U_o \cdot U_{pk} \cdot \eta_{tp}}{0.5d + \Delta \cdot 0.85 \cdot b}$

Швидкість автомобіля     $V_{a_{\omega_e, x}} := \frac{\omega_e \cdot (0.5d + \Delta \cdot 0.85 \cdot b)}{U_{kx} \cdot U_o \cdot U_{pk}}$

Динамічний фактор автомобіля     $D_{\omega_e, x} := \frac{P_{k_{\omega_e, x}} \cdot 10^3 - 0.6 \cdot B_1 \cdot H_a \cdot (V_{a_{\omega_e, x}})^2}{G_a}$

Рисунок 1 – Початкові дані та формульна схема розрахунку динамічного фактора автомобіля MAN 13.320 у Mathcad

За результатами розрахунків будується динамічна характеристика автомобіля – графічна залежність динамічного фактора від швидкості руху автомобіля на всіх передачах у коробці передач. У Mathcad графік будується автоматично, необхідно лише вказати його вид (у прямокутній системі координат, у полярних координатах, тривимірний, діаграма і ін.) та величини, що відкладаються по осях графіка. Далі можна змінювати вигляд графіка і розмірності осей, адаптуючи його відповідно до мети дослідження. На рис. 2 наведена динамічна характеристика автомобіля MAN 13.320, побудована у Mathcad.

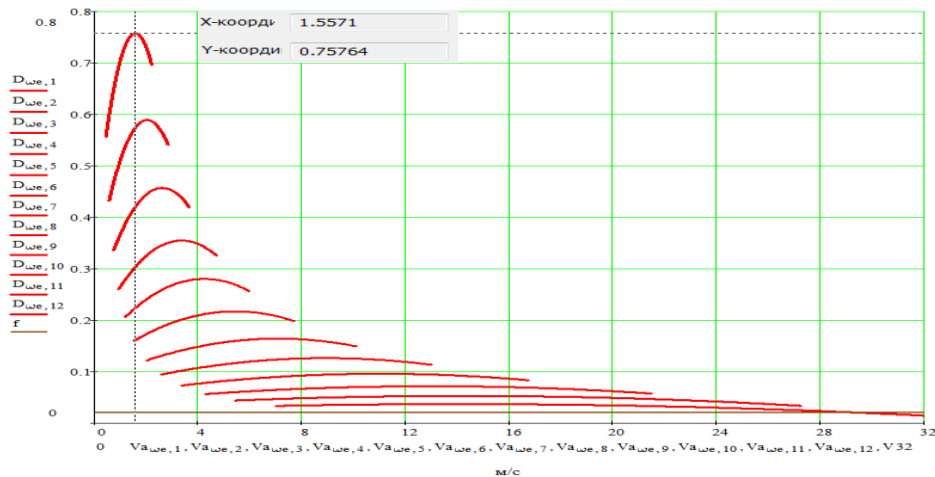


Рисунок 2 – Динамічна характеристика автомобіля MAN 13.320

Інструментарій Mathcad дозволяє з високою точністю визначати координати будь-якої точки на кривих графіка, що є достатньо корисним для вирішення експлуатаційних задач. Зокрема на рис. 2 показано максимальне значення динамічного фактора та відповідна йому швидкість руху автомобіля.

З використанням динамічної характеристики можна вирішувати різні задачі з визначення показників тягової динамічності автомобіля, зокрема: визначення максимальної швидкості руху автомобіля по дорозі з заданим коефіцієнтом опору дороги; визначення максимального підйому, який може подолати автомобіль на дорозі із заданим коефіцієнтом опору коченню; визначення максимального прискорення автомобіля на дорозі з заданим коефіцієнтом опору дороги; визначення можливості буксування ведучих коліс і ряд інших задач.

Розроблена модель дослідження тягової динамічності автомобіля з використанням Mathcad дозволяє оперативно та з високою точністю отримувати результати розрахунків як у вигляді графіків, так і у вигляді чисельних значень будь-якого з необхідних параметрів тягової динамічності автомобіля в заданих умовах руху.

Завдяки своїй оперативності вона може бути використана не тільки у навчальному процесі для аналізу тягових властивостей конкретного автомобіля, а й для прогностичних розрахунків тягової динамічності автомобіля, що проектується, з урахуванням ітераційного характеру процесів проектування.

Використання розробленої моделі дозволить позбавити дослідника від громіздких і тривалих графоаналітичних розрахунків і зосередити більше уваги не на процесі отримання результатів, а на їх аналізі та формуванні оптимального рішення.

**Список використаних джерел:**

1. Кайдалов Р.О., Страшний І.Л., Калатинець О.В. Методи порівняльного оцінювання військових вантажних автомобілів за тяговою динамічністю : *Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України*. Харків, 2024. Вип. 2 (44). С. 69–78. URL: <https://doi.org/10.33405/2409-7470/2024/2/44/319459>
2. Біленко І.І., Кайдалов Р.О., Дюндик С.М. Тяговий розрахунок автомобіля. Методичні рекомендації до виконання курсової роботи з дисципліни «Автомобілі та бойові машини» для курсантів, студентів і слухачів інституту денної та заочної форм навчання. Харків : ВІ ВВ МВС України. 32 с.
3. Страшний І.Л., Горбунов А.П. Експлуатаційні властивості автомобілів : навч. посіб. Харків : Акад. ВВ МВС України, 2014. 94 с.
4. Mathcad A PTC Product. URL: <https://mathcad.com.ua/>