

УДК 629.114.3

## РОЗПОДІЛ ТЯГОВОГО ТА ГАЛЬМІВНОГО ЗУСИЛЛЯ НА КОЛЕСАХ АВТОМОБІЛЯ В РІЗНИХ ІЗДОВИХ ЦИКЛАХ

О.М. Тімков, доцент, к.т.н., О.С. Іванов, аспірант,  
Національний транспортний університет, м. Київ

*Анотація.* Розроблено методику розрахунку, за допомогою якої можна визначити розподіл тягового та гальмівного зусилля автомобіля в різних їздових циклах і використовувати це при виборі характеристик вузлів гібридного автомобіля. В основі методики покладено диференціальне рівняння руху автомобіля на основі другого закону Ньютона.

*Ключові слова:* їздовий цикл, тягове зусилля, гальмівне зусилля.

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯГОВОГО И ТОРМОЗНОГО УСИЛИЯ НА КОЛЕСАХ АВТОМОБИЛЯ В РАЗНЫХ ЕЗДОВЫХ ЦИКЛАХ

А.Н. Тимков, доцент, к.т.н., А.С. Иванов, аспирант,  
Национальный транспортный университет, г. Киев

*Аннотация.* Разработана методика расчета, с помощью которой можно определить распределение тягового и тормозного усилия автомобиля в разных ездовых циклах и использовать это при выборе характеристик узлов гибридного автомобиля. В основе методики положено дифференциальное уравнение движения автомобиля на основе второго закона Ньютона.

*Ключевые слова:* ездовой цикл, тяговое усилие, тормозное усилие.

## DISTRIBUTION OF TRACTION AND BRAKING FORCES ON VEHICLE'S UNDER DIFFERENT RIDING CYCLES

A. Timkov, Associate Professor, Candidate of Technical Science, A. Ivanov  
postgraduate, National Transport University, Kyiv

*Abstract.* The method calculation which can be used to determine the distribution of traction and braking force of the vehicle in different driving cycles and use it when choosing characteristics of a hybrid vehicle devised. The differential equation of vehicle's motion basis of Newton's second law lies in the basis of the given methodology.

*Key words:* driving cycle, traction, braking force.

### Вступ

Складність процесу проектування автомобіля полягає у розв'язанні задачі оптимального підбору характеристик основних агрегатів, що забезпечило би необхідні тягово-швидкісні та паливно-економічні характеристики автомобіля. Для розв'язання цієї задачі інженери використовують математичне моделювання. Моделювання можна розглядати як заміщення досліджуваного об'єкта умов-

ною подобою, описом або іншим об'єктом, що має назву модель і забезпечує адекватне з оригіналом поведіння в рамках деяких допущень та прийнятних похибок. Моделювання зазвичай виконується з метою пізнання властивостей оригіналу шляхом дослідження його моделі, а не самого об'єкта. Зрозуміло, моделювання виправдано у тому випадку, коли воно простіше за створення самого оригіналу.

**Аналіз публікацій**

В роботі [1] автори запропонували методику попереднього визначення параметрів електросилової установки легкового гібридного автомобіля та навели експериментальні дані випробувань для автомобіля «Таврія». При виборі електродвигуна автори розрахували необхідну потужність електродвигуна для забезпечення прискорення автомобіля у європейському міському циклі з урахуванням опору кочення та аеродинамічного опору, викладену в роботі [2]. В роботі [3] було представлено результати випробувань ефективності рекуперативного гальмування автомобіля «МАМІ-ГСУ», побудованого на базі автомобіля УАЗ-3153. Автор відзначає, що основними завданнями при розробці рекуперації енергії є: правильний вибір нагромаджувача енергії; визначення найкращих параметрів агрегатів ГСУ для збільшення часу використання рекуперативного гальмування, що дозволить автомобілю на деяких режимах гальмувати тільки за рахунок рекуперативного гальмування; підвищення рекуперації шляхом вибору раціональної схеми ГСУ з мінімальними втратами при перетворенні енергії з одного виду в інший.

**Мета роботи та постановка задачі**

Розробка методики розрахунку показників руху автомобіля, яка б дозволила теоретично досліджувати залежність тягового та гальмівного зусилля в різних їздових циклах.

**Результати моделювання**

Властивості автомобіля залежать від його здатності набирати швидкість, долати підйоми та зупинятися до певної швидкості за необхідний проміжок часу. В нормальних умовах руху максимальні можливості автомобіля використовуються рідко, протягом тривалого часу силова установка завантажена лише частково.

Реальне тягове зусилля і швидкість автомобіля змінюються в широких межах, які визначаються прискоренням, сповільненням, ухилом або підйомом та тощо. Ці зміни пов'язані з дорожньою обстановкою та типом автомобіля. Режим руху автомобіля в місті або поза містом також дуже сильно впливає на його характеристики, як і кількість пасажирів. Все це дуже складно впли-

ває на тягове зусилля і зміну швидкості автомобіля в реальних дорожніх умовах. Однак, деякі типові їздові цикли можуть бути використані для моделювання типових дорожніх умов. Ці їздові цикли представляють за звичай у вигляді залежності швидкості автомобіля від часу руху по горизонтальній дорозі.

Переваги гібридного автомобіля краще за все реалізуються при русі у міському циклі з великою кількістю зупинок та гальмувань. Розглянемо розподіл гальмівного та тягового зусилля у таких їздових циклах (рис. 1): Federal Test Procedure EPA 75, New York City Cycle (NYCC), UN/ECE Elementary Urban Cycle.

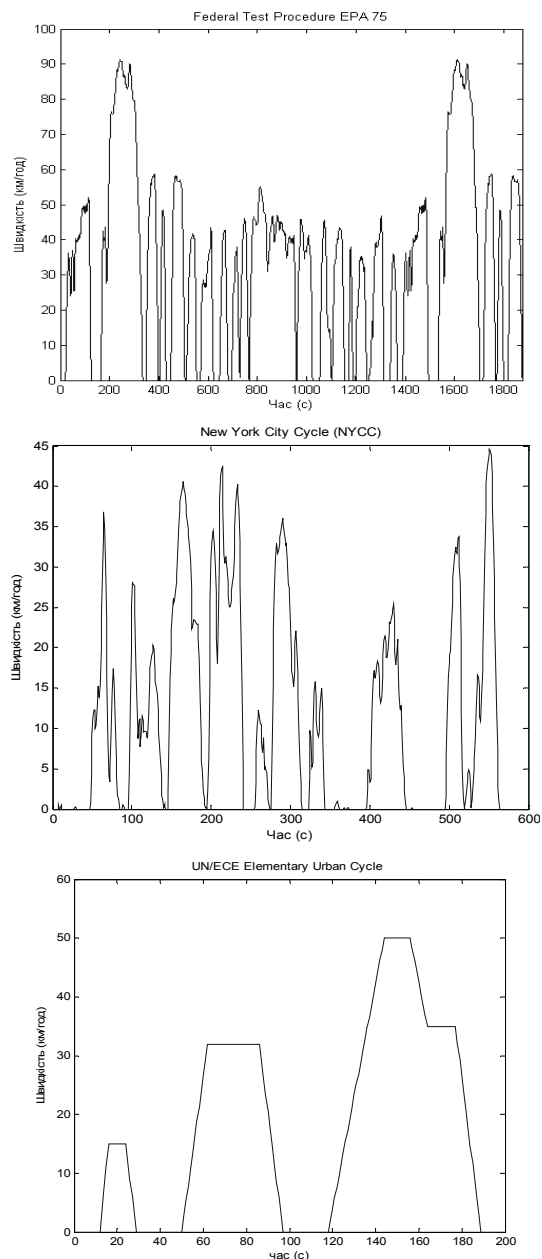


Рис. 1. Їздові цикли

Тягове та гальмівне зусилля можна розрахувати за формулою (1)

$$F_T = Mgf \cos \alpha + \frac{1}{2} \rho_w C_x A_F V^2 + M \delta \frac{dV}{dt}, \quad (1)$$

де  $M$  – маса автомобіля, кг,  $g$  – прискорення вільного падіння,  $f$  – коефіцієнт опору кочення,  $\rho_w$  – густина повітря,  $C_x$  – аеродинамічний коефіцієнт опору,  $A_F$  – лобова площа автомобіля,  $m^2$ ,  $V$  – швидкість автомобіля, м/с,  $\delta$  – коефіцієнт, який враховує обертання мас,  $dV/dt$  – прискорення автомобіля, м/с<sup>2</sup>,  $\alpha$  – кут нахилу дороги (при розрахунках брали  $\alpha = 0$ )

Прискорення  $dV/dt$  може бути розраховано, як показано на рис. 2 за формулою (2).

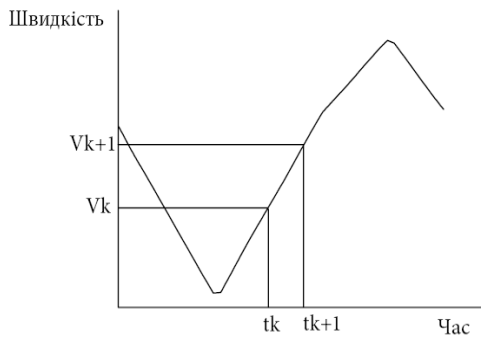


Рис. 2. Визначення прискорення в їздовому циклі

$$\frac{dV}{dt} = \frac{V_{k+1} - V_k}{t_{k+1} - t_k} \quad (k = 1, 2, \dots, n), \quad (2)$$

де  $n$  – максимальна кількість точок.

Результати розрахунку тягового та гальмівного зусилля на ведучих колесах автомобіля за виразом (1) можна представити у вигляді гістограм тривалості використання залежно від швидкості та зусилля на ведучих колесах: цикл Federal Test Procedure EPA 75 (рис. 3), цикл NYCC (рис. 4), цикл UN/ECE EUC (рис. 5).

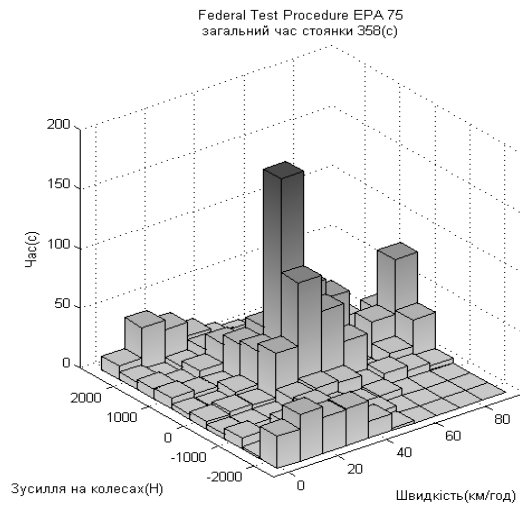


Рис. 3. Тривалість використання тягового та гальмівного зусилля в циклі FTP EPA 75

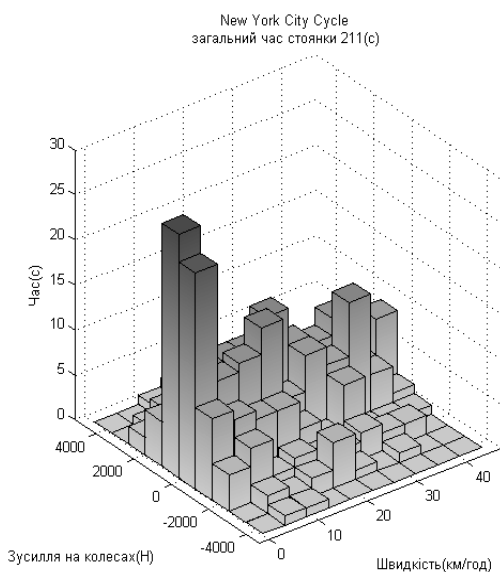


Рис. 4. Тривалість використання тягового та гальмівного зусилля в циклі NYCC

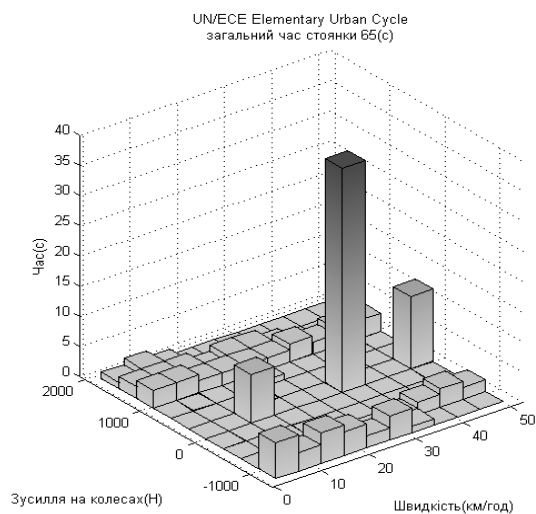


Рис. 5. Тривалість використання тягового та гальмівного зусилля в циклі UN/ECE EUC

### Висновки

Розроблено методику розрахунку, що дозволяє проводити теоретичні розрахунки тривалості використання тягового та гальмівного зусилля залежно від швидкості автомобіля в різних їздових циклах. З її допомогою можна визначити характеристики для будь-якого автомобіля в будь-якому їздовому циклі. Вона дозволяє розв'язувати значну кількість задач при проектуванні гібридних та електричних автомобілів. Подальший розвиток буде пов'язаний з визначенням потужності тягового двигуна, генератора та нагромаджувача енергії необхідної для виконання різних їздових циклів.

### Література

1. Бажинов О.В. Методика определения основных параметров электросиловой установки гибридного автомобиля // О.В. Бажинов, О.С. Панікарський, В.С. Боженов // Автомобильный транспорт – Вип. 25. – 2009. – С.145–150.
2. Смирнов О.П. Методичні вказівки до курсової роботи з дисципліни «Моделювання електромеханічних систем» / О.П. Смирнов, О.Б. Богаевский, В.С. Боженов, О.С. Панікарський. – Харків: ХНАДУ, 2007. – 27 с.
3. Филонов А.И. Проблемы рекуперации кинетической энергии на автомобиле с гибридной силовой установкой / А.М. Филонов // МГТУ «МАМИ». – С. 320–328.
4. Mehrdod Ehsani, Yimin Gao, Ali Emadi, Modern Electric, Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicles // Taylor & Francis Group. – 2010. – 519 с.

Рецензент: В.П. Волков, професор, д.т.н.,  
ХНАДУ

Стаття надійшла до редакції 9 червня 2011 р.

---

---