

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Гайденко Ю.А., к.т.н., доцент, Чернушенко П.І., магістрант
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електромеханіки

Вступ. У сучасній науці та техніці одним із ключових показників ефективності команди дослідників чи інженерів є час проведення досліджень, експериментів, побудови прототипів. В умовах глобального ринку час розробки нового технологічного продукту напряму впливає на його успішність. Тому ведучі компанії та університети докладають зусилля для автоматизації та прискорення таких процесів.

Однією з проблем, що потребує швидкого вирішення, є питання попереднього визначення ефективності транспортного засобу на етапі його розробки. Побудова прототипу цілого автомобіля – це досить дорогий та тривалий процес, тому запропоновано підхід з використанням математичного моделювання з залученням сучасних програмних засобів.

Поєднавши відомі математичні моделі, які описують основні процеси, що відбуваються при русі автомобіля, різноманітність їздових циклів, узагальнені моделі двигунів внутрішнього згорання, електродвигунів, джерел енергії і т.д. можна отримати ефективний набір інструментів для швидкої оцінки того чи іншого автомобіля. Одним із таких інструментів стала бібліотека QSS Toolbox для використання з програмним пакетом MATLAB/Simulink, розроблений у Швейцарському Федеральному Інституті Технологій (м. Цюрих).

Основною відмінністю від традиційного підходу в розрахунку динаміки автомобіля є зворотний напрям взаємозв'язку між досліджуваними величинами. При традиційному підході на основі заданих сил вираховується результуюча швидкість транспортного засобу, а у інструментах даної бібліотеки навпаки – на основі заданих швидкостей модель дозволяє обчислити прискорення та визначає необхідні сили. Наведемо приклади обох підходів:

Традиційний підхід:

Рівняння сил, що діють на транспортний засіб:

$$m \cdot \dot{v}_f(t) = F_a(t) - m_f \cdot g \cdot c_r - \frac{1}{2} \cdot \rho_L \cdot c_w \cdot A_f \cdot v_f^2(t)$$

Причина: сила $F_a(t)$

Наслідок: швидкість транспортного засобу $v_f(t)$

Підхід бібліотеки QSS:

Рівняння сил, що діють на транспортний засіб таке саме:

$$m \cdot \dot{v}_f(t) = F_a(t) - m_f \cdot g \cdot c_r - \frac{1}{2} \cdot \rho_L \cdot c_w \cdot A_f \cdot v_f^2(t)$$

Причина: $v_f(k \cdot h)$, тобто швидкість у заданий час

Наслідки:

1. Середня швидкість

$$\bar{v}_f(t) = (v_f(k \cdot h + h) + v_f(k \cdot h)) / 2, \forall t \in [k \cdot h, k \cdot h + h)$$

2. Прискорення

$$\dot{v}_f(t) = (v_f(k \cdot h + h) - v_f(k \cdot h)) / h, \forall t \in [k \cdot h, k \cdot h + h)$$

3. Сила руху $F_a(t)$ (постійна на інтервалі $\forall t \in [k \cdot h, k \cdot h + h)$).

Символ “ h ” означає часовий крок розрахунку симуляції. За замовчуванням обирають крок у 1 с. На основі заданих значень швидкості та сили, витрати палива вираховуються на основі так званих *карт ефективності двигуна*. За допомогою таких карт можна побудувати дуже просту і водночас достатньо точну модель двигуна внутрішнього згоряння, електродвигуна, батареї, трансмісії тощо.

Типова модель для розрахунку транспортного засобу зображена на рис. 1.

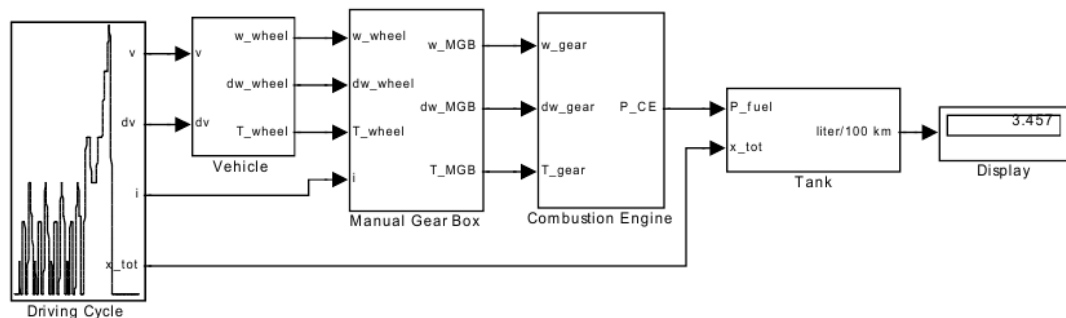


Рисунок 1 – QSS-модель для розрахунку автомобіля з двигуном внутрішнього згоряння

Блок «Driving Cycle» дозволяє задати обраний їздовий цикл. Бібліотека містить найбільш популярні цикли, проте за необхідності є можливість задати власний цикл. Всередині блоку «Vehicle» вираховується момент на колесах автомобіля (включно з силами опору кочення та аеродинамічного опору). Блок «Gear Box» на основі заданого вектору передаточних чисел та обраних швидкостей перемикає вираховує необхідний момент на виході двигуна.

З загального моменту, що враховує момент на виході, момент прискорення та втрати в двигуні блок «Engine» вираховує витрату палива в заданих умовах на основі карт ефективності. Останній блок «Tank» підсумовує вхідні дані та перетворює їх у потрібний формат (літри на 100 км).

Для прикладу нижче приведені деякі результати розрахунків за допомогою даної моделі.

Часова залежність витрати палива, розрахована на основі QSS-моделі для запропонованого прикладу автомобіля, зображена на рис. 2.

Цикл	NEDC
<i>Автомобіль</i>	
Маса автомобіля	750 кг
Поперечний переріз автомобіля	1.8 м ²
Діаметр колеса	0.8 м
Коефіцієнт аеродинамічного опору	0.22
Коефіцієнт тертя кочення	0.008
<i>Трансмiсія</i>	
1 передача	15.174
2 передача	8.338
3 передача	5.378
4 передача	3.937
5 передача	2.748
Диференціальна передача	1
ККД	0,98
Втрати при холостому ході	300 Вт
<i>Двигун</i>	
Тип	Бензиновий
Потужність	35 кВт
Втрати холостого ходу	2600 Вт

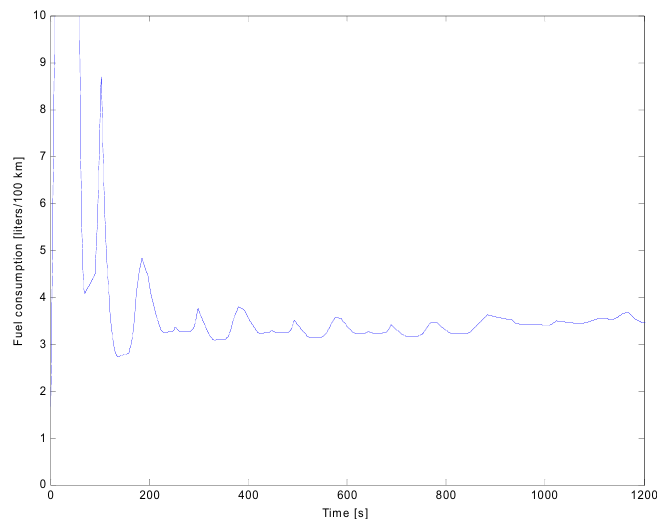


Рисунок 2 – Миттєва витрата палива (л/100 км)

Висновок: запропонований підхід у моделюванні (на основі QSS-моделі) дозволяє швидко та без особливих зусиль оцінити ефективність того чи іншого транспортного засобу, дослідити вплив тих чи інших факторів, оптимізувати параметри ходової частини, «натренувати» алгоритми автоматичного керування для досягнення максимальної ефективності.

Перелік посилань

1. Economic Commission for Europe. Inland Transport Committee. World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations. 162nd session/ Proposal for a new global technical regulation on the Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure (WLTP). Geneva, 11-14 March 2014.
2. Сахно В. П., Безбородова Г. Б., Маяк М. М., Шпай С. М., «Автомобілі: Тягово-швидкісні властивості та паливна економічність». Київ: Видавництво «КВІЦ», 2004. – 174 с.
3. The QSS Toolbox Manual. L. Guzzella, A. Amstutz. June 2005.