

XÂY DỰNG MÔ HÌNH TÍNH MỨC TIÊU THỤ NĂNG LƯỢNG CHO XE Ô TÔ TỰ HÀNH DÙNG ĐỘNG CƠ XĂNG

A STUDY ON MODELLING THE ENERGY CONSUMPTION OF A CONVENTIONAL AUTONOMOUS VEHICLE

Phan Văn Dương

Viện Cơ khí, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

TÓM TẮT

Xe tự hành được mong đợi được sử dụng rộng rãi để tăng tính an toàn cho xe, chủ yếu thông qua việc giảm các tai nạn giao thông. Tuy nhiên, thiết kế của nó sẽ ảnh hưởng đến mức độ tiêu thụ nhiên liệu của xe. Bài báo đề xuất một mô hình tính lượng nhiên liệu tiêu thụ của một xe ô tô tự hành dùng động cơ đốt trong. Mô hình tính sẽ đề cập tới các thông số có ảnh hưởng đến mức độ tiêu thụ nhiên liệu của xe bao gồm: hành vi của người lái, điều kiện môi trường và các thông số kỹ thuật của xe. Kết quả cho thấy rằng, với mô hình tính đã xây dựng thì mức độ tiêu thụ nhiên liệu cho xe là 7.2l/100km. Thông qua kết quả này, các bộ điều khiển sẽ được thiết kế để giảm mức nhiên liệu tiêu thụ trên.

Từ khóa: Xe tự hành; Mức độ tiêu thụ nhiên liệu.

ABSTRACT

Autonomous vehicles have been envisioned to increase vehicle safety, primarily via the reduction of accidents. However, their design could also affect the vehicle travel demand and energy consumption. In this paper, a model is proposed to calculate the energy consumption of this kind of vehicle. Energy consumption could be influenced by the most significant factors such as Driver behavior, Environmental conditions and Vehicle specifications. The results show that the energy consumption is 7.2l/100km. Through this results controllers will be able to designed to reduce the fuel consumption of autonomous vehicles.

Keywords: Autonomous vehicles; Fuel consumption.

1. TỔNG QUAN

Cheah cùng các tác giả [1] dự đoán rằng mức độ tiêu thụ năng lượng của những phương tiện xe kiểu mới sẽ giảm một nửa cho đến năm 2035 bởi vì sự cải tiến của công nghệ quản lý và điều khiển xe. Các phương pháp quản lý năng lượng của xe có thể xây dựng thông qua các yếu tố chính ảnh hưởng trực tiếp tới việc hoạt động của xe. Những yếu tố này bao gồm: hành vi của người lái, điều kiện môi trường xung quanh và thông số kỹ thuật của xe. Xe được điều khiển thông qua hiệu lệnh của người lái xe. Các lệnh này sẽ tác động tới hệ thống lái như bàn đạp, ly hợp, hộp số và hệ thống phanh để xe di chuyển theo đúng quỹ đạo mong muốn. Bên cạnh đó, các điều kiện về môi trường lái xe như địa hình của đường (độ dốc và độ nghiêng) và lực gió cũng có những ảnh hưởng tới hoạt động của xe. Tất cả những yếu tố này sẽ được sử dụng trong mô hình để tính toán mức tiêu thụ của xe được đề cập ở các phần tiếp theo.

2. MÔ HÌNH TÍNH TOÁN MỨC ĐỘ TIÊU THỤ NHIÊN LIỆU CHO XE

2.1. Các điều kiện về môi trường

Khi một chiếc xe di chuyển dọc theo một quỹ đạo cho trước thì các điều kiện về môi trường xung quanh xe thay đổi rất nhiều. Sự thay đổi này bao gồm địa hình của đường, sức gió và điều kiện nhiệt độ đặc biệt là trong môi trường lái xe thật. Nếu tất cả các điều kiện này được thu thập với độ chính xác cao, chúng có thể được dùng trong các hệ thống thông minh để tính toán giảm lượng tiêu thụ cho xe. Tuy nhiên, trong thực tế điều này khó có thể xảy ra bởi vì dữ liệu của chúng thường không đủ cho sự hoạt động theo thời gian thực của một hệ thống điều khiển thông minh ở trên xe. Để xem xét vai trò của các điều kiện về môi trường

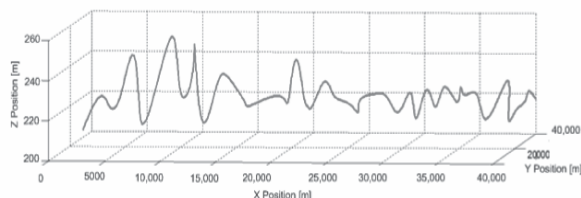
trong mô phỏng và mô hình hóa hệ thống xe, sẽ rất lý tưởng nếu các dữ liệu thực của môi trường được kết hợp trong việc xây dựng mô hình. Tuy nhiên, các dữ liệu này hiện nay chưa sẵn có và các dữ liệu hiện hữu không đủ cho việc nghiên cứu chuyên sâu.

Để giải quyết vấn đề trên, dữ liệu ảo với các đặc tính về thống kê dựa trên các điều kiện môi trường thật sẽ được tạo ra để phục vụ cho việc mô hình hóa. Việc sử dụng dữ liệu ảo trong các mô hình huấn luyện được xem là ứng dụng phát triển trong công nghệ xe tự hành, bởi vì nó cho phép xây dựng các thuật điều khiển nhanh với chi phí hợp lý dựa trên thuật toán học chuyên sâu [2]. Các mô hình khác nhau thì được sử dụng để tạo ra các dữ liệu nhân tạo về tuyến đường, sự ảnh hưởng của sức gió và hệ thống điều hòa trên xe. Các dữ liệu này sẽ được sử dụng cho quá trình xây dựng mô hình và mô phỏng mức độ tiêu thụ nhiên liệu của xe.

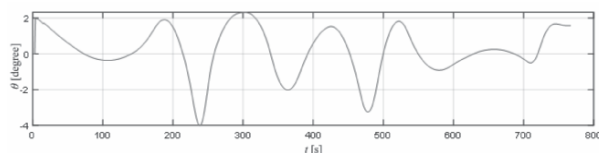
a) Mô phỏng địa hình của tuyến đường

Dữ liệu về địa hình tuyến đường đóng một vai trò quan trọng trong mô phỏng. Trong bài báo này, một mô hình được phát triển bởi Khayyam [3] được sử dụng để tạo ra địa hình của tuyến đường cao tốc tiệm cận với thực tế bằng việc sử dụng một tập hợp các phân bố xác suất. Trong mô hình, một tuyến đường cao tốc sẽ được xây dựng từ việc tập hợp các đoạn đường. Số lượng các đoạn đường được lấy mẫu một cách ngẫu nhiên dựa trên thuật toán phân bố Poisson. Trong khi đó, chiều dài của mỗi đoạn đường cũng được lấy mẫu một cách ngẫu nhiên dựa trên thuật toán phân bố xác suất theo cấp số nhân. Ngoài ra, hình dạng của mỗi đoạn đường được tạo ra bởi việc sử dụng hai con số ngẫu nhiên. Sự thay đổi về độ dốc và độ cong của từng đoạn lần lượt được lấy ngẫu nhiên dựa trên hai thuật toán Rayleigh và Gaussian. Hình 

1 và hình 2, thể hiện độ dốc của toàn bộ khung đường dài 16.5km được sử dụng cho việc mô phỏng trong bài báo này.



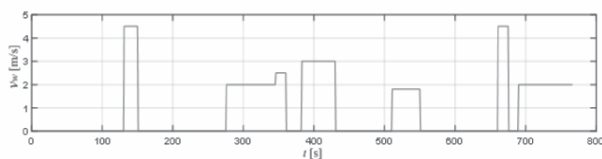
Hình 1. Địa hình ba chiều của khung đường được xây dựng mô hình ngẫu nhiên.



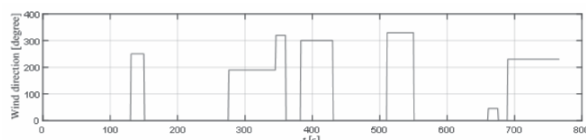
Hình 2. Độ dốc của đường.

b) Mô hình gió

Gió là một nhân tố môi trường khác có ảnh hưởng trực tiếp tới sự hoạt động của xe. Gió sẽ thay đổi rất nhiều theo khí tượng học cả về tốc độ và hướng gió. Một vài nghiên cứu đã được thực hiện để phân tích tốc độ gió. Trong bài báo này phân bố Weibull dựa trên mô hình [3], được dùng để mô tả sự thay đổi của gió ở một địa hình cụ thể. Trước tiên, độ dài của từng đoạn đường có gió được lấy ngẫu nhiên dựa trên thuật toán phân phối theo cấp số nhân. Thuật toán này sẽ tạo những giá trị về hướng cũng như tốc độ của gió cho từng đoạn đường. Tốc độ gió như là một giá trị về biên độ được tạo ra bởi một hàm mật độ phân bố Weibull. Cùng với đó, một thuật toán phân bố xác suất đồng bộ được dùng để tạo ra hướng gió ở mỗi vùng một cách ngẫu nhiên. Kết hợp điều này với tốc độ gió, một hướng của gió sẽ được tạo ra đối với mỗi bước thời gian trong mô hình. Hình 3 và 4 lần lượt mô tả tốc độ và hướng gió được sử dụng cho việc mô phỏng tính toán của bài báo này.



Hình 3. Tốc độ gió được tạo ra bởi mô hình được mô tả trong [3].

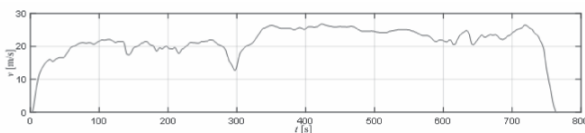


Hình 4. Hướng gió được tạo ra bởi mô hình trong [3].

2.2. Mô hình hành vi người lái xe

Để có thể xây dựng mô hình tính toán nhu cầu về nguồn năng lượng tiêu thụ cho xe thì tốc độ của xe ở mỗi một thời điểm trong suốt hành trình xe di chuyển cần được biết trước. Điều này bởi vì rất nhiều các yếu tố trong mô hình tính toán như là ma sát giữa bánh xe với mặt đường, lực kéo tác dụng lên xe từ gió đều phụ thuộc vào tốc độ của xe. Để xác định tốc độ của xe trên toàn bộ hành trình xe di chuyển thì một mô hình chu trình lái xe được sử dụng. Chu trình lái xe thường được tạo ra để đánh giá sự hoạt động của xe dựa trên cơ sở tính toán như mức tiêu thụ năng lượng hay lượng khí thải. Ngoài ra, chúng còn có thể được dùng trong mô phỏng động lực học của xe. Trong các nghiên cứu để xây dựng mô hình, mô hình hành vi người lái xe thường được xây dựng theo cách xác định một hàm tốc độ theo thời gian trong suốt quá trình xe di chuyển. Các chu trình của xe có thể chia thành hai loại: trong thành phố và trên cao tốc. Khi xe di chuyển trong khu vực thành thị, xe cần phải tăng tốc hay giảm tốc độ một cách thường xuyên hoặc chuyển sang chế độ chờ lý tưởng để phù hợp với điều kiện giao thông. Dưới những điều kiện lái xe này, dòng chảy năng lượng có thể được điều chỉnh một cách hiệu quả với một hệ thống lái linh hoạt.

Các thuật toán điều khiển có thể được áp dụng để thực hiện vấn đề này. Ví dụ, lượng nhiên liệu bị mất mát có thể được lưu trữ bằng việc tắt động cơ khi tốc độ di chuyển xe thấp hoặc ở chế độ dừng lý tưởng. Ngoài ra, một hệ thống phanh tái tạo năng lượng có thể được sử dụng. Hệ thống này chuyển đổi năng lượng động, nhiệt và lực quán tính được tạo ra khi phanh thành năng lượng điện được lưu trữ trong ắc quy hoặc pin. Trong khi đó, việc xe di chuyển trên đường cao tốc để đạt được hiệu suất về năng lượng thì thường khó hơn. Chính vì vậy, chu trình lái xe trên cao tốc sẽ được chọn để thể hiện tốc độ của xe ở các thời điểm khác nhau. Hình 5, thể hiện một chu trình lái xe trên cao tốc phổ biến được sử dụng trong mô hình tính toán trong bài báo này. Chu trình này được lấy từ chu trình lái để thử tính hiệu quả trong việc sử dụng năng lượng của xe trên cao tốc (HWFET). HWFET mô tả sự kết hợp của việc lái xe trên đường cao tốc nông thôn và liên bang trên các phương tiện đã khởi động, điển hình cho những chuyến đi dài hơn trong tình trạng giao thông tự do.

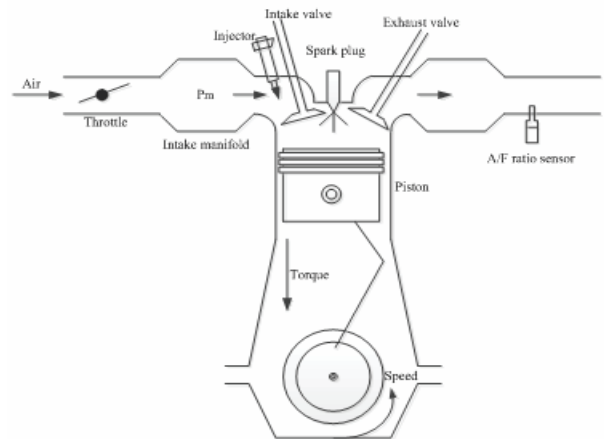


Hình 5. Chu trình lái xe tiêu chuẩn (HWFET)

2.3. Mô hình xe

Mô hình tính toán lượng nhiên liệu tiêu thụ sẽ được tính toán dựa trên một mô hình xe sử dụng động cơ đốt trong. Năng lượng sẽ truyền từ động cơ tới bánh xe thông qua hệ thống truyền động (ly hợp, hộp số, vi sai). Không phải toàn bộ năng lượng được sinh ra bởi động cơ sẽ được truyền tới bánh xe. Sự thất thoát năng lượng trong quá trình này có thể kể đến các yếu tố về sự mất mát về nhiệt, hiệu suất về cơ khí. Động cơ được sử dụng trên xe này là

động cơ đánh lửa sử dụng nhiên liệu xăng [4]. Hình 6 mô tả một sơ đồ hệ thống động lực học động cơ xăng. Sơ đồ chỉ ra rằng, dòng khí sẽ chảy vào ống nạp từ bướm ga. Tại đây, khí sẽ được trộn với nhiên liệu từ kim phun theo một tỷ lệ mong muốn trước khi được đi tới xi-lanh. Áp lực trong xi-lanh sẽ tăng lên do sự đốt cháy hỗn hợp. Kết quả là tạo ra mô-men xoắn trên trục của động cơ.



Hình 6. Cấu tạo hệ thống động lực của động cơ đánh lửa cưỡng bức.

Theo [5], phương trình toán thể hiện tỷ lệ khối lượng của không khí đi vào đường ống nạp được xác định theo công thức sau:

$$\dot{m}_{throttle} = MAX.TC.PRI \quad (1)$$

Trong đó, MAX lưu lượng tối đa qua bướm ga, TC tính đến ảnh hưởng của góc ga và PRI kể đến ảnh hưởng của tỷ số áp suất trên bướm ga. Áp dụng định luật khí lý tưởng, động lực học đường ống nạp có thể được tính như sau:

$$\dot{P}_m = \frac{\dot{m}_{manifold}.R.T}{V_m} = \frac{(\dot{m}_{throttle} - \dot{m}_{cyl}).R.T}{V_m} \quad (2)$$

Trong đó, R là hằng số khí đối với không khí, T là nhiệt độ nạp, V_m là thể tích đường ống nạp, $\dot{m}_{cyl}$ là lưu lượng không khí đi vào xi-lanh. Thông số lưu lượng này có thể được tính toán như sau:

$$\dot{m}_{cyl} = \frac{1}{4\pi} V_{disp} \cdot \eta_{vol} \cdot \omega_{ICE} \cdot \frac{P_m}{R \cdot T} \quad (3)$$

Trong đó, V_{disp} là thể tích của động cơ, η_{vol} là hiệu suất thể tích động cơ, P_m là áp suất và ω_{ICE} là tốc độ quay động cơ. Mô-men xoắn trên trục động cơ được tính theo công thức sau [5]:

$$\tau_{ICE} = \frac{C_T \cdot \dot{m}_{cyl} \cdot AFI(\lambda) \cdot SPI(\delta)}{\omega_{ICE}} \quad (4)$$

Trong đó, $C_T = 498636$ [5] là hằng số mô-men xoắn, $AFI(\lambda)$ là hàm số của tỷ lệ không khí và nhiên liệu, $SPI(\delta)$ là ảnh hưởng của thời gian đánh lửa lên mô-men xoắn. $AFI(\lambda)$ có thể được tính toán theo công thức sau.

$$AFI(\lambda) = \cos(7.3834(A/F) - 13.5) \quad (5)$$

Trong đó, A/F là tỷ lệ không khí và nhiên liệu.

Thế phương trình (3) vào (4), chúng ta có mô-men xoắn của động cơ được tính toán như sau:

$$\tau_{ICE} = \frac{C_T \cdot AFI(\lambda) \cdot SPI(\delta) \cdot V_{disp} \cdot P_m \cdot \eta_{vol}}{4\pi \cdot R \cdot T} \quad (6)$$

Đặc tính của động cơ đốt trong có thể được mô hình hóa dưới dạng bản đồ tĩnh phi tuyến liên quan đến mức tiêu thụ khối lượng của động cơ, $\dot{m}_{fuel}$ nhiên liệu, tốc độ của động cơ, ω_{ICE} và mô-men của động cơ τ_{ICE} . Mức tiêu thụ khối lượng nhiên liệu của động cơ được tính như sau:

$$\dot{m}_{fuel} = \frac{\tau_{ICE} \omega_{ICE}}{(q_{comb}) \cdot \eta_{mech} \cdot \eta_{eng}} \quad (7)$$

Trong đó, q_{comb} là năng lượng đốt cháy, η_{mech} là hiệu suất cơ khí và η_{eng} là hiệu suất của động cơ. Hiệu suất cơ khí là phần trăm năng lượng mà động cơ thải ra sau khi trừ đi những tổn thất cơ khí như ma sát, so với lượng năng lượng mà động cơ tạo ra mà không bị tổn thất công suất và nó không đổi trong quá trình hoạt động của động cơ. Hiệu suất cơ khí $\eta_{mech} = 0.9$ [90]. Do giới hạn nhiệt động của động cơ, hiệu suất cao nhất của động cơ có thể đạt được là 34%.

3. MÔ HÌNH TÍNH MỨC ĐỘ TIÊU THỤ NĂNG LƯỢNG CỦA XE

Để xây dựng một thuật toán điều khiển phù hợp với mục đích tăng hiệu suất của xe, chúng ta cần phải xây dựng được mô hình tính toán năng lượng của xe trong quá trình di chuyển. Những yếu tố quan trọng bao gồm các điều kiện về môi trường, hành vi người lái và các thông số kỹ thuật của xe cần được xem xét đến trong toàn bộ quá trình xe di chuyển. Để có thể nâng cao hiệu suất làm việc để từ đó giảm thiểu lượng nhiên liệu tiêu thụ thì mô hình tính toán này cần đảm bảo độ chính xác. Để đáp ứng yêu cầu này, các mô hình về nhu cầu năng lượng trên đường của phương tiện, hình dạng đường, điều kiện gió, hành vi của người lái và mô hình của phương tiện đã được xây dựng như ở trên. Tốc độ của xe được xác định trước là chu trình lái xe tiêu chuẩn tại thời điểm t nhất định, được sử dụng để ước tính nhu cầu về năng lượng di chuyển của xe như sau:

$$P_{RPD} = F_t \cdot v_t + P_{ac} \quad (8)$$

Trong đó, F_t là tổng lực kéo tác dụng lên

xe để thắng được lực cản tác dụng lên xe, P_{ac} nhu cầu về năng lượng của điều hòa.

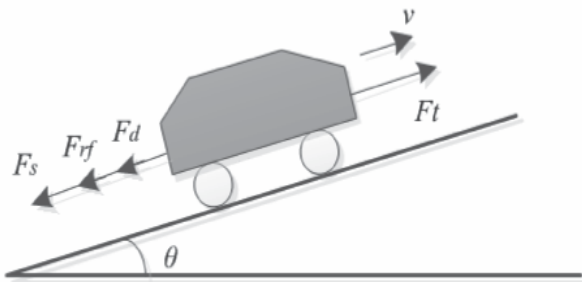
Như minh họa trên hình 7, xe đi trên đường nằm ngang bằng phẳng, có độ dốc thẳng đứng với một góc được biểu thị bằng góc dốc của đường. Tổng động lực có thể được tính toán như sau:

$$F_t = F_{rf} + F_d + F_s + m \frac{dv_t}{dt} = c_r mg \cos \theta + c_d \cdot \frac{1}{2} \rho (v_w + v_t)^2 \cdot A(\phi) + mg \sin \theta + m \frac{dv_t}{dt} \quad (9)$$

Trong đó, F_{rf} là lực ma sát trên đường, F_d là lực kéo, F_s là thành phần của trọng lực theo chiều ngược với chiều chuyển động của xe, m là khối lượng xe, θ là độ dốc của đường, c_r là hệ số ma sát trên đường, v_t là tốc độ của xe tại thời điểm t , c_d là hệ số cản, ρ là mật độ không khí, v_w là tốc độ gió tuyệt đối, và $A(\phi)$ là diện tích mặt cắt ngang.

Năng lượng tiêu thụ bởi điều hòa P_{ac} được tính theo công thức sau:

$$P_{ac} = \frac{dW_{ac}}{dt} = MC_{room} \frac{dT_{room}}{dt} \quad (10)$$



Hình 7. Các lực tác dụng lên xe khi xe di chuyển trên đoạn đường dốc.

Thay phương trình (9) và (10) vào (8), ta được:

$$P_{RPD} = c_r mg \cos \theta \cdot v_t + c_d \cdot \frac{1}{2} \rho (v_w + v_t)^2 A(\phi) \cdot v_t + mg \sin \theta \cdot v_t + MC_{room} \frac{dT_{room}}{dt} + mv_t \frac{dv_t}{dt} \quad (11)$$

Tỷ trọng khối lượng nhiên liệu tiêu thụ của xe được tính như sau:

$$\dot{m}_{fuel} = \frac{P_{RPD}}{q_{com} \cdot \eta_{mech} \cdot \eta_{eng}} \quad (12)$$

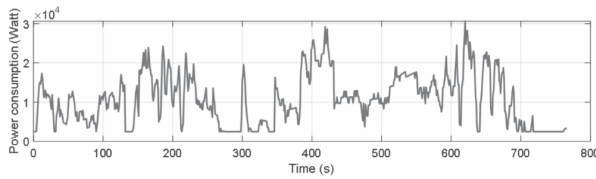
Từ đó, tổng lượng nhiên liệu cho toàn bộ quá trình xe di chuyển sẽ được tính theo công thức:

$$m_{fuel} = \int_0^t \dot{m}_{fuel} dt \quad (13)$$

4. MÔ PHỎNG VÀ KẾT QUẢ

Sau khi toàn bộ dữ liệu về điều kiện môi trường lái xe, hành vi người lái và các thông số kỹ thuật của xe được thu thập. Toàn bộ quá trình tính toán lượng nhiên liệu tiêu thụ của xe được mô phỏng trong phần mềm Matlab. Kết quả mô phỏng cho thấy lượng nhiên liệu tiêu thụ của xe được tính toán cho quãng đường xe di chuyển trong vòng 766s tương ứng với quãng đường 16.5 km. Xe được di chuyển theo chu trình lái xe tiêu chuẩn (HWFET). Nhu cầu về nguồn năng lượng cho xe trên toàn bộ quá trình được thể hiện trên hình 8. Dựa trên nhu cầu về nguồn năng lượng này, chúng ta sẽ tính toán và quy đổi được tổng lượng tiêu thụ trên xe cho toàn bộ quá trình là 7.2l/100km. Thông số về nguồn nhiên liệu tiêu thụ của xe này sẽ là cơ sở để xây dựng cũng như đánh giá chất lượng của các bộ điều khiển được ứng dụng để giảm mức độ tiêu thụ nhiên liệu trên xe.





Hình 8. Nhu cầu về nguồn năng lượng trên xe

5. KẾT LUẬN

Mức độ tiêu thụ năng lượng của xe là một trong những thông số quan trọng để làm cơ sở thiết kế và đánh giá chất lượng của các bộ điều khiển xe. Bài báo đề xuất một mô hình tính lượng nhiên liệu tiêu thụ của một xe ô tô tự hành dùng động cơ đốt trong. Mô hình tính sẽ đề cập tới các thông số có ảnh hưởng đến mức độ tiêu thụ nhiên liệu của xe bao gồm: hành vi của người lái, điều kiện môi trường và các thông số kỹ thuật của xe. Kết quả cho thấy rằng, với mô hình tính đã xây dựng thì mức độ tiêu thụ nhiên liệu cho xe là 7.2l/100km. Hướng phát triển tiếp theo sẽ thực hiện xây dựng các bộ điều khiển thông minh nhằm mục đích giảm thiểu lượng nhiên liệu này. ❖

Ngày nhận bài: **18/02/2024**

Ngày phản biện: **28/3/2024**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Cheah, L., et al., *Factor of two: Halving the fuel consumption of new US automobiles by 2035*. In Reducing climate impacts in the transportation sector, 2008, Springer. p. 49-71.
- [2]. Gale, T., S. Eliuk, and C. Upright, *High-Performance Data Loading and Augmentation for Deep Neural Network Training*. GPU Technology Conference 2017, 2017.
- [3]. Khayyam, H., *Stochastic models of road geometry and wind condition for vehicle energy management and control*. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2013. 62(1): p. 61-68.
- [4]. Engine, J.B.H.I.C., *Fundamentals*. Newyork, USA, 1988.
- [5]. Cho, D. and J.K. Hedrick, *Automotive powertrain modeling for control*. Journal of Dynamic systems, Measurement, and Control, 1989. 111(4): p. 568-576.