

NGHIÊN CỨU VỀ TURBO TĂNG ÁP TRÊN ĐỘNG CƠ 1KR-VET NHẪM NÂNG CAO TÍNH HIỆU QUẢ CỦA ĐỘNG CƠ

RESEARCH ON TURBOCHARGER ON 1KR-VET ENGINE TO IMPROVE ENGINE EFFICIENCY

LÊ HỮU THỜI^{1,a}, CAO HÙNG PHI¹

¹Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long,

^aTác giả liên hệ: thoilh@vlute.edu.vn

Nhận bài (Received): 9/12/2024; Phản biện (Reviewed): 14/01/2025; Chấp nhận (Accepted): 20/03/2025

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả mô phỏng ảnh hưởng của turbo tăng áp đến moment xoắn và lưu lượng nhiên liệu của động cơ. Nghiên cứu đã xây dựng phương trình, khảo sát moment xoắn và lưu lượng nhiên liệu của động cơ trên phần mềm Matlab Simulink. Các thông số kỹ thuật của động cơ 1KR-VET được sử dụng làm đầu vào cho mô hình, cho phép đánh giá ảnh hưởng của turbo tăng áp lên moment xoắn và lưu lượng nhiên liệu động cơ. Kết quả mô phỏng cho thấy động cơ trang bị turbo tăng áp tạo ra moment xoắn cao hơn so với động cơ không trang bị turbo, đồng thời có lưu lượng nhiên liệu sử dụng thấp hơn.

Từ khóa: Turbo tăng áp, moment xoắn, lưu lượng nhiên liệu.

ABSTRACT

The paper presents the simulation results of the influence of turbocharger on engine torque and fuel flow. The study has built equations, investigated engine torque and fuel flow on Matlab Simulink software. The technical parameters of the 1KR-VET engine are used as input for the model, allowing to evaluate the influence of turbocharger on engine torque and fuel flow. The simulation results show that the engine equipped with turbocharger helps to create high torque with low engine fuel flow.

Keywords: Turbocharger, torque, fuel flow.

1. GIỚI THIỆU

Tăng áp cho động cơ xăng là một phương pháp sử dụng turbo tăng áp để nén không khí rồi đưa vào xylanh động cơ làm tăng mật độ không khí, qua đó tăng khối lượng không khí nạp vào xylanh mỗi chu trình [1]. Mục tiêu chính của việc này là cải thiện hiệu suất đốt cháy, từ đó nâng cao công suất động cơ. Việc sử dụng turbo tăng áp giúp tăng cường lưu lượng không khí và

nhiên liệu hòa trộn, dẫn đến sự cháy hiệu quả hơn, có thể sản sinh ra công suất cao hơn mà không cần tăng kích thước động cơ [2]. Turbo cho phép động cơ hoạt động hiệu quả hơn, từ đó giúp giảm lượng nhiên liệu tiêu thụ. Điều này có lợi cho cả người tiêu dùng và môi trường [3]. Động cơ xăng được trang bị turbo thường có khả năng duy trì hiệu suất tốt hơn ở các dải tốc độ và tải khác nhau, mang lại trải nghiệm lái tốt hơn. Tăng áp cho động cơ xăng là một công

nghe quan trọng giúp tăng công suất và tiết kiệm nhiên liệu, đáp ứng nhu cầu ngày càng cao của thị trường ô tô hiện đại. Dựa trên những cơ sở đó, tác giả định hướng “Nghiên cứu về turbo tăng áp trên động cơ 1KR-VET nhằm nâng cao tính hiệu quả của động cơ”, để khảo sát ảnh hưởng của turbo tăng áp đến hiệu suất hoạt động của động cơ xăng.

2. NỘI DUNG

2.1. Xây dựng phương trình toán học khảo sát động cơ xăng

2.1.1. Phương trình toán học máy nén

Phương trình áp suất của máy nén được suy ra từ định luật đầu tiên của nhiệt động lực học và được đưa ra như sau:

$$\frac{\partial p_c}{\partial t} = \frac{RT_c}{V_c} (m_c^g - m_{ic}^g) \quad (1)$$

Trong đó: p_c là áp suất sau máy nén (Pa)

t là thời gian (giây)

R là hằng số chất khí 287J/kg.K

$$m_c^g = k_1 \left(1 - \frac{p_{amb}}{p_c}\right) + k_2 \omega_{tc} \sqrt{1 - \frac{p_{amb}}{p_c}} + k_3 \omega_{tc} \sqrt[4]{1 - \frac{p_{amb}}{p_c}} + k_4 \omega_{tc} \quad (3)$$

Trong đó: ω_{tc} là tốc độ bộ tăng áp (rad/s)

Phương trình hiệu suất máy nén được đưa ra như sau [4]:

$$\eta_c = \frac{\left(\frac{p_c}{p_{amb}}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1}{\frac{T_c}{T_{amb}} - 1} \quad (4)$$

Trong đó: h_c là hiệu suất máy nén

T_c là nhiệt độ sau máy nén (K)

V_c là thể tích máy nén (m^3)

m_c là lưu lượng qua máy nén (kg/s)

m_{ic} là lưu lượng qua bộ làm mát khí nạp (kg/s)

Nếu quá trình giãn nở của khí qua máy nén là đẳng entropy, tức là $h_c = 1$, phương trình nhiệt độ sau máy nén có thể được mô hình hóa như sau [4]:

$$T_c = k_1 T_{amb} \left(\frac{p_c}{p_{amb}}\right)^{(\gamma-1)/\gamma} \quad (2)$$

Trong đó: T_{amb} là nhiệt độ môi trường (K)

p_{amb} là áp suất môi trường (Pa)

γ là số mũ đoạn nhiệt

Lưu lượng máy nén phụ thuộc chủ yếu vào tốc độ máy nén và tỷ số áp suất. Một số yêu cầu cơ bản là lưu lượng khối lượng phải bằng 0 khi tốc độ trục tuabin bằng 0 và khi không có chênh lệch áp suất trước và sau máy nén. Phương trình lưu lượng máy nén được thể hiện như sau [4]:

2.1.2. Phương trình toán học bộ làm mát khí nạp

Phương trình áp suất của bộ làm mát khí nạp được suy ra từ định luật nhiệt động lực học đầu tiên như sau:

$$\frac{\partial p_{ic}}{\partial t} = \frac{RT_{ic}}{V_{ic}} (m_{ic}^g - m_{th}^g) \quad (5)$$

Trong đó: p_{ic} là áp suất sau bộ làm mát khí nạp (Pa)

T_{ic} là nhiệt độ sau bộ làm mát khí nạp (K)

V_{ic} là thể tích bộ làm mát khí nạp (m^3)

m_{th} là lưu lượng qua bướm ga (kg/s)

Phương trình lưu lượng qua bộ làm mát khí nạp được đưa ra như sau:

$$m_{ic}^g = \sqrt{\frac{P_c - P_{ic}}{kT_c}} \quad (6)$$

Phương trình nhiệt độ bộ làm mát khí nạp được biểu thị như sau:

$$T_{ic} = T_c - \delta(T_c - T_{cool}) \quad (7)$$

Trong đó: T_{cool} là nhiệt độ làm mát bằng nhiệt độ môi trường T_{amb}

δ là hiệu suất bộ làm mát khí nạp

2.1.3. Phương trình toán học bướm ga

Trong động cơ xăng, bướm ga được sử dụng để kiểm soát lưu lượng không khí vào xi lanh. Do đó, điều quan trọng là phải mô hình hóa chính xác lưu lượng bướm ga. Phương trình của lưu lượng bướm ga có thể được biểu thị như một hàm của α , P_{ic} , T_{ic} và P_{im} , được đưa ra như sau [4]:

$$m_{th}^g(\alpha, P_{ic}, T_{ic}, P_{im}) = \frac{P_{ic}}{\sqrt{RT_{ic}}} \cdot Q_{th}(\alpha) \cdot \psi(P_r) \quad (8)$$

Trong đó: $Q_{th}(\alpha)$ là hàm số biểu thị độ mở bướm ga

$\psi(P_r)$ là hàm số của tỷ số áp suất

Tương tự như áp suất của bộ làm mát khí nạp và máy nén, phương trình toán học của áp suất bướm ga có thể được suy ra từ định luật nhiệt động lực học đầu tiên như sau:

$$\frac{\partial P_{th}}{\partial t} = \frac{RT_{ic}}{V_{im}} (m_{th}^g - m_{ac}^g) \quad (9)$$

Trong đó: P_{th} là áp suất đường ống nạp (Pa)

V_{im} là thể tích đường ống nạp (m^3)

m_{ac} lưu lượng không khí vào xy lanh (kg/s)

2.1.4. Phương trình toán học đường ống nạp

Đường ống nạp là nơi không khí với nhiên liệu được trộn lẫn và là đường dẫn mà hỗn hợp đi vào xi lanh. Áp suất và nhiệt độ chỉ được coi là những yếu tố sau bướm ga. Vì vậy, chỉ có lưu lượng vào xi lanh được mô hình hóa. Phương trình của lưu lượng vào xi lanh được đưa ra như sau [4]:

$$m_{ac}^g = \frac{\eta_{vol}(N, P_{th})V_d P_{th}}{120RT_{th}} \quad (10)$$

Trong đó: η_{vol} là hiệu suất thể tích

N là tốc độ động cơ (rpm)

V_d là thể tích công tác động cơ (m^3)

T_{th} là nhiệt độ đường ống nạp (K)

2.1.5. Phương trình toán học quá trình đốt cháy

Trong quá trình đốt cháy, hỗn hợp không khí và nhiên liệu được đốt cháy để tạo ra mô men xoắn và công suất. Lượng không khí vào xi lanh ảnh hưởng đến thời gian kéo dài của quá trình đốt cháy, do đó sẽ ảnh hưởng đến công suất đầu ra của động cơ. Để phun một lượng nhiên liệu chính xác vào động cơ, điều quan trọng là phải biết tỷ lệ lý thuyết của không khí và nhiên liệu. Do đó phương trình lưu lượng nhiên liệu được đưa ra như sau:

$$m_{fc}^g = \frac{1}{14,7} m_{ac}^g \quad (11)$$

Trong đó: m_{fc} là lưu lượng nhiên liệu (kg/s)

Mô men xoắn do động cơ tạo ra phụ thuộc vào công sinh ra và công tiêu thụ trong động cơ, được thể hiện qua phương trình sau:

$$M_e = \frac{W_{ig} - W_p - W_f}{2\pi n_r} \quad (12)$$

Trong đó: M_e là mô-men xoắn động cơ (N.m)

W_{ig} là công chỉ thị (J)

W_p là công máy nén (J)

W_f là công ma sát (J)

n_r là số vòng quay của động cơ trên một chu kỳ

Khi đó công suất đầu ra của động cơ có thể được biểu thị như sau:

$$P = 2\pi MN \quad (13)$$

Trong đó: P là công suất động cơ (W)

M là mô-men xoắn động cơ (N.m)

2.1.6. Phương trình toán học ống xả

Đầu tiên, lưu lượng qua ống xả được mô hình hóa vì nó sẽ được sử dụng để mô hình hóa áp suất. Lưu lượng khối lượng ống xả là tổng khối lượng không khí và lưu lượng khối lượng nhiên liệu qua động cơ, phương trình được đưa ra như sau:

$$m_{em}^g = m_{ac}^g + m_{fuel}^g \quad (14)$$

Trong đó: m_{em} là lưu lượng qua ống xả (kg/s)

m_{fuel} là lưu lượng nhiên liệu (kg/s)

Phương trình áp suất ống xả được đưa ra như sau:

$$\frac{\partial p_{em}}{\partial t} = \frac{RT_{em}}{V_{em}} (m_{em}^g - \dot{m}_t^g - \dot{m}_{wg}^g) \quad (15)$$

Phương trình hiệu suất tuabin có thể được tính toán bằng phương trình sau [4]:

$$\eta_t = \frac{1 - \frac{T_t}{T_{em}}}{1 - \left(\frac{p_t}{p_{em}}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} \quad (20)$$

Trong đó: η_t là hiệu suất tuabin

2.2. Mô hình và kết quả khảo sát

Trong đó: p_{em} là áp suất đường ống xả (Pa)

T_{em} là nhiệt độ đường ống xả (K)

V_{em} là thể tích ống xả (m³)

\dot{m}_t là lưu lượng qua tuabin (kg/s)

\dot{m}_{wg} là lưu lượng van điều áp (kg/s)

Nhiệt độ khí xả tăng lên khi tốc độ động cơ, tải và độ trễ đánh lửa tăng. Do đó, phương trình nhiệt độ đường ống xả được biểu diễn như sau [4]:

$$T_{em} = k_1 M^2 + k_2 \sqrt[4]{N} + k_3 M \cdot N \quad (16)$$

2.1.7. Phương trình toán học tuabin

Phương trình lưu lượng tuabin được thể hiện qua phương trình sau [4]:

$$\dot{m}_t^g = k_1 \left(\frac{p_{em}}{p_t}\right) + k_2 \sqrt{\frac{p_{em}}{p_t} - 1} \quad (17)$$

Trong đó: p_t là áp suất sau tuabin (Pa)

Tương tự như các thành phần khác, phương áp suất của tuabin được suy ra từ định luật nhiệt động lực học đầu tiên như sau:

$$\frac{\partial p_t}{\partial t} = \frac{RT_t}{V_{es}} (m_{wg}^g + \dot{m}_t^g - \dot{m}_{es}^g) \quad (18)$$

Trong đó: V_{es} là thể tích hệ thống xả (m³)

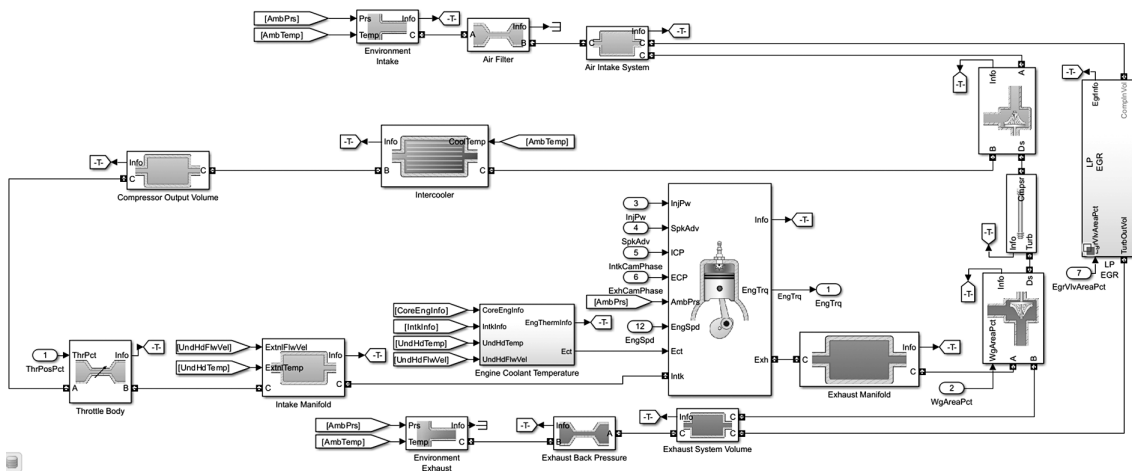
\dot{m}_{es} là lưu lượng hệ thống xả (kg/s)

Giống như máy nén, phương trình nhiệt độ tuabin được đưa ra như sau:

$$T_t = k_1 (T_{em} - T_{amb}) \cdot \left(\frac{p_t}{p_{em}}\right)^{(\gamma-1)/\gamma} + k_2 (T_{em} - T_{amb})^2 + k_3 \quad (19)$$

2.2.1. Các khối của mô hình khảo sát

Dựa vào các khối của phần mềm Matlab Simulink tác giả đã xây dựng mô hình khảo sát động cơ xăng tăng áp. Trong mô hình gồm các khối động cơ đốt trong, ống nạp, ống xả, máy nén, tuabin, trục tuabin, bướm ga, bộ làm mát khí nạp. Các khối này có ảnh hưởng với nhau và được liên kết theo sơ đồ như Hình 1.



Hình 1: Các khối của mô hình khảo sát

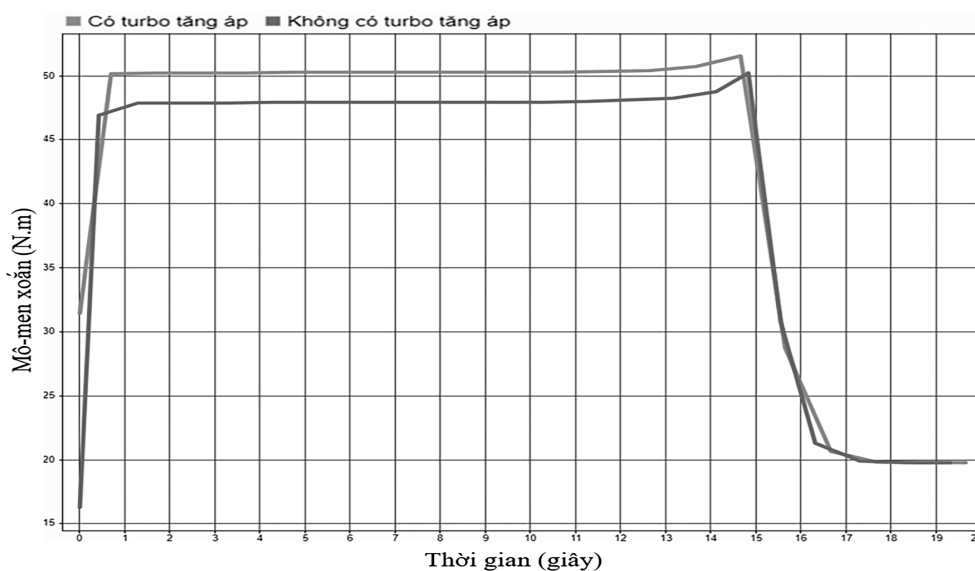
Thông số đầu vào của mô hình là thông số kỹ thuật của động cơ 1KR-VET (Bảng 1)

Bảng 1: Thông số kỹ thuật động cơ 1KR-VET [5]

Hạng mục	Thông số/Đặc tính
Số xy lanh và cách bố trí	3 xy lanh, kiểu I
Dung tích động cơ	998 cm ³
Đường kính x Hành trình pít tông	71.0 x 84.0 mm
Tỷ số nén	9.5
Công suất tối đa	72 kW/ 6000 v/ph
Mô men xoắn tối đa	140 Nm/ 4500 v/ph

2.2.2. Kết quả khảo sát

Tác giả sử dụng phần mềm Matlab Simulink khảo sát moment xoắn, lưu lượng nhiên liệu động cơ với điều kiện động cơ có turbo tăng áp và không có turbo tăng áp.



Hình 2: Moment xoắn động cơ

Kết quả khảo sát mô-men xoắn động cơ ở Hình 2 cho thấy động cơ có trang bị turbo tăng áp cao hơn so với động cơ không có trang bị turbo tăng áp. Điều này cho thấy

việc động cơ xăng sử dụng turbo tăng áp giúp động cơ tạo ra moment xoắn tốt hơn từ đó giúp động cơ đạt công suất cao hơn.



Hình 3: Lưu lượng nhiên liệu động cơ

Kết quả khảo sát lưu lượng nhiên liệu của động cơ ở Hình 3 cho thấy lưu lượng nhiên liệu của động cơ có trang bị turbo tăng áp thấp hơn so với động cơ không trang bị turbo tăng áp. Điều này cho thấy việc động cơ xăng sử dụng turbo tăng áp giúp động cơ sử dụng lượng nhiên liệu hiệu quả hơn trong quá trình hoạt động.

Qua các kết quả khảo sát cho thấy việc động cơ xăng sử dụng turbo tăng áp giúp động cơ tạo ra moment xoắn cao hơn so với động cơ không trang bị turbo tăng áp, đồng thời có lượng nhiên liệu tiêu thụ thấp hơn. Điều này cho thấy việc động cơ trang bị turbo tăng áp giúp nâng cao tính hiệu quả hoạt động của động cơ.

3. KẾT LUẬN.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Tất Tiến (2003), *Nguyên lý động cơ đốt trong*, Nhà xuất bản Giáo Dục.
- [2]. Nguyễn Tiến Hán (2014), *Nghiên cứu khả năng tăng áp động cơ diesel đang lưu hành*. Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Đại học Bách khoa Hà Nội.
- [3]. Đinh Xuân Thành (2012), *Nghiên cứu giảm khí thải độc hại cho động cơ diesel tăng áp lắp trên xe buýt*, Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Đại học Bách khoa Hà Nội.
- [4]. Kang Rong (2014), *Modeling of turbocharged spark ignited engine and model predictive control of hybrid turbocharger*, University of Florida.
- [5]. Aris Abbas, Sabiqunassabiqun, Alfian Ady Saputra, Rahmat Pahruzi, Mustopa Kamal (2024). *Performance of the Turbocharged Engine Toyota Raize using Pertamina 92 and Pertamina Green 95*, JMPM (Jurnal Material Dan Proses Manufaktur).