

ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC TỔN THẤT TRONG CỦA CÁC QUÁ TRÌNH VÀ TỶ HẠO CƠ GIỚI TỚI HIỆU SUẤT CÓ ÍCH CỦA CHU TRÌNH ĐỘNG CƠ ĐỐT TRONG VÀ TỈ SỐ NÉN TỐI ƯU

THE INFLUENCE OF THE INTERNAL WORK LOSS OF PROCESSES AND MECHANICAL LOSS TO THE EFFECTIVE COEFFICIENTS OF THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE CYCLE AND OPTIMAL COMPRESSION RATIO

TS. NGUYỄN MẠNH THƯỜNG

Khoa Cơ khí, Trường ĐHHH Việt Nam

Tóm tắt

Trong Nhiệt kỹ thuật đã được biết, trong cùng điều kiện môi trường và nhiệt độ- áp suất tối đa cho phép của chu trình, hiệu suất nhiệt của chu trình cấp nhiệt đẳng áp là lớn nhất. Tuy vậy, trong thực tế động cơ diesel lại sử dụng chu trình cấp nhiệt hỗn hợp. Đó là do các quá trình thực tế đều không thuận nghịch. Bài viết này nhằm minh họa cho điều đó và trình bày phương hướng nâng cao hiệu suất có ích của động cơ đốt trong.

Abstract

It's been known in the Thermodynamic, that in the same environmental conditions and maximum temperature- pressure of the cycle, the thermal efficiency of the constant-pressure heat-addition cycle is the greatest. However, in fact all diesel engines use the dual heat-addition cycle. This is because actual processes are not reversible. This article aims to illustrate that and presents useful directions to improve the performance of internal combustion engines.

1. Đặt vấn đề

Như đã biết, phân tích chu trình lý thuyết của động cơ đốt trong chỉ ra rằng, để tăng hiệu suất nhiệt thì phải tăng tỉ số nén. Tỉ số nén càng tăng thì hiệu suất nhiệt càng tăng, tỉ số nén chỉ bị giới hạn bởi điều kiện kỹ thuật và công nghệ. So sánh các chu trình lý thuyết trong trường hợp cùng điều kiện môi trường và nhiệt độ - áp suất lớn nhất của chu trình cũng cho thấy rằng, chu trình cấp nhiệt đẳng áp sẽ có hiệu suất lớn nhất. Tuy vậy, các động cơ diesel chỉ sử dụng biện pháp cấp nhiệt hỗn hợp. Ngoài những lý do thực tế về kỹ thuật và công nghệ khác nhau được phân tích kỹ hơn trong môn học chuyên ngành về động cơ, ở góc độ lý thuyết Nhiệt cơ sở thì tỉ số nén bị hạn chế bởi ảnh hưởng của tính bất thuận nghịch của các quá trình thực tế. Bài viết này sẽ minh họa cho điều đó và cho thấy giới hạn của tỉ số nén trong điều kiện cụ thể.

2. Nội dung

Các quá trình nén và dẫn nở thực tế kèm theo các tổn thất không thuận nghịch, chúng được xét tới thông qua hiệu suất trong tương đối η_{oi} của các quá trình diễn ra trong máy móc.

Khi dẫn nở (trong tua bin, động cơ đốt trong...), hiệu suất trong tương đối được định nghĩa:

$$\eta_{oidn} = l_{dn} / l_{drsc}, \quad (1)$$

còn khi nén (trong máy nén, động cơ...)

$$\eta_{oin} = l_{nsc} / l_n, \quad (2)$$

từ đó ta có: $l_{dn} = \eta_{oidn} l_{drsc}$ và $l_n = l_{nsc} / \eta_{oin}$ (trong các công thức trên, kí hiệu: η_{oidn} , η_{oin} là hiệu suất trong tương đối của quá trình dẫn nở và nén; l_{dn} , l_n là công dẫn nở và nén thực tế, l_{drsc} , l_{nsc} là công dẫn nở và nén của quá trình thuận nghịch).

Các tổn thất năng lượng dạng công làm giảm công dẫn nở và tăng công nén thực tế. Kết quả là làm công thực tế (công chỉ thị) của chu trình bị giảm:

$$l_i = l_{dn} - |l_n| = \eta_{oidn} l_{drsc} - |l_{nsc}| / \eta_{oin}. \quad (3)$$

Từ (3) ta có biểu thức tính hiệu suất trong tuyệt đối của chu trình (hay hiệu suất chỉ thị)

$$\eta_i = \frac{\eta_{oidn} l_{drsc} - |l_{nsc}| / \eta_{oin}}{q_1}. \quad (4)$$

Biến đổi (4):

$$\frac{\eta_{oidn} I_{drso} - |I_{rso}| / \eta_{oin}}{q_1} = \left[\frac{I_{drso}}{q_1} - \frac{|I_{rso}|}{q_1} \frac{1}{\eta_{oidn} \eta_{oin}} \right] \eta_{oidn} = \left[\frac{I_{drso} - |I_{rso}|}{q_1} - \frac{|I_{rso}|}{q_1} \left(\frac{1}{\eta_{oidn} \eta_{oin}} - 1 \right) \right] \eta_{oidn},$$

và cuối cùng, thu được

$$\eta_i = \left[\eta_t - \frac{|I_{rso}|}{q_1} \left(\frac{1}{\eta_{oidn} \eta_{oin}} - 1 \right) \right] \eta_{oidn}, \quad (5)$$

trong đó $\eta_t = \frac{I_{drso} - |I_{rso}|}{q_1}$ - hiệu suất nhiệt của chu trình (hiệu suất của chu trình thuận nghịch).

Hiệu suất có ích của chu trình thực sẽ là [2, 3]:

$$\eta_e = \left[\eta_t - \frac{|I_{rso}|}{q_1} \left(\frac{1}{\eta_{oidn} \eta_{oin}} - 1 \right) \right] \eta_{oidn} \eta_m = \eta_i \eta_m. \quad (6)$$

Công thức (5) cho thấy, ngoài hiệu suất nhiệt và các hiệu suất trong tương đối của các quá trình giãn nở và nén, thì tỉ số $|I_{rso}| / q_1$ cũng có ảnh hưởng tới hiệu suất chỉ thị. Chỉ đối với chu trình có công nén nhỏ so với q_1 , ví dụ đối với chu trình động lực hơi nước, thì ta mới có được công thức thường gặp:

$$\eta_e = \eta_i \eta_{oidn} \eta_m. \quad (7)$$

Như đã biết trong Nhiệt động học cơ sở thì đối với động cơ đốt trong kiểu piston, khi cho trước thông số của môi trường (kí hiệu là P_a và T_a là áp suất và nhiệt độ môi trường) và nhiệt độ, áp suất tối đa cho phép T_{max} và P_{max} của chu trình, chu trình cấp nhiệt đẳng áp có hiệu suất nhiệt lớn nhất. Tuy nhiên, khi kể đến tổn thất do không thuận nghịch của các quá trình nén và giãn nở, khi tăng tỉ số nén ε , công nén tăng và q_1 giảm do cột áp nhiệt độ (chênh lệch giữa nhiệt độ cho phép và nhiệt độ cuối quá trình nén) giảm. Tỉ số $|I_{rso}| / q_1$ tăng làm giảm giá trị của biểu thức trong ngoặc vuông của (5) so với hiệu suất nhiệt. Như vậy, giá trị của η_i sẽ chỉ tăng nếu tăng ε trong chừng mực nhất định, sau khi đạt cực đại ở một giá trị nào của ε thì η_i sẽ giảm nếu tiếp tục tăng ε .

Đối với chu trình cấp nhiệt hỗn hợp của động cơ kiểu piston, đã biết [3]:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\lambda-1}} \frac{\lambda \rho^k - 1}{(\lambda - 1) + k\lambda(\rho - 1)}, \quad (8)$$

trong đó: λ , ρ - tương ứng là tỉ số tăng áp và tỉ số giãn nở sớm. Nếu chọn trước tỉ số nén ε thì ta có các mối quan hệ:

$$\lambda = \min \left\{ P_{max} / (P_a \varepsilon^k); T_{max} / T_a / \varepsilon^{\lambda-1} \right\} \quad (9)$$

Tỉ số giãn nở sớm:

$$\rho = \frac{T_{max}}{T_a \lambda} \varepsilon^{1-k}. \quad (10)$$

Nhiệt lượng tối đa có thể cấp cho chu trình:

$$q_1 = c_p T_{max} - [(c_p - c_v) \lambda + c_v] T_a \varepsilon^{k-1}. \quad (11)$$

Công nén với quá trình đoạn nhiệt thuận nghịch:

$$|l_{ms}| = \frac{RT_a}{k-1} (T_c/T_a - 1) = \frac{RT_a}{k-1} (\varepsilon^{k-1} - 1) \quad (12)$$

và

$$\frac{|l_{ms}|}{q_1} = \frac{RT_a(\varepsilon^{k-1} - 1)}{(k-1)[c_p T_{max} - (R\lambda + c_v)T_a \varepsilon^{k-1}]} \quad (13)$$

Thay (8)...(13) vào (5) sẽ thu được hàm của η_i phụ thuộc vào ε : $\eta_i = \eta_i(\varepsilon)$.

Trong thực tế, có thể chấp nhận giả thiết gần đúng rằng, các hiệu suất trong tương đối của các quá trình nén và giãn nở không thay đổi theo ε vì bản chất tự nhiên của các nguyên nhân gây tổn thất công gần như không có gì thay đổi.

Hiệu suất cơ giới, đối với động cơ nhất định, sẽ giảm khi giảm tải. Điều này được thấy rõ nhất khi động cơ chạy không tải. Khi không tải thì $l_i = l_{ms}$ (trong đó: l_i và l_{ms} là công chỉ thị và tổn thất cơ giới của chu trình khi không tải), nên:

$$\eta_m = \frac{l_i - l_{ms}}{l_i} = 0.$$

Để đơn giản, ta coi công tổn hao cơ giới đối với mỗi kiểu loại động cơ là không thay đổi theo phụ tải và không phụ thuộc vào ε : $l_{ms} = const$ (vì về cơ bản thì kết cấu và động lực học không thay đổi đáng kể khi thay đổi ε). Tuy nhiên, khi tăng tỉ số nén sẽ phải giảm nhiệt cấp vào cho chu trình và làm thay đổi công chỉ thị nên η_m sẽ thay đổi:

$$\eta_m = 1 - \frac{l_{ms}}{l_i} = 1 - \frac{l_{ms}}{q_1 \eta_i} \quad (14)$$

và

$$\eta_e = \eta_i \eta_m = \eta_i - \frac{l_{ms}}{q_1} \quad (15)$$

Thay η_i và q_1 từ các công thức (5), (8)...(13) vào (15) ta thu được biểu thức cho η_e theo ε : $\eta_e = \eta_e(\varepsilon)$. Dễ thấy, khi tăng ε thì sẽ làm q_1 giảm, sau khi η_i đạt giá trị cực đại, thì cả η_i cũng giảm nếu tiếp tục tăng ε nên làm cho η_e giảm nhanh hơn.

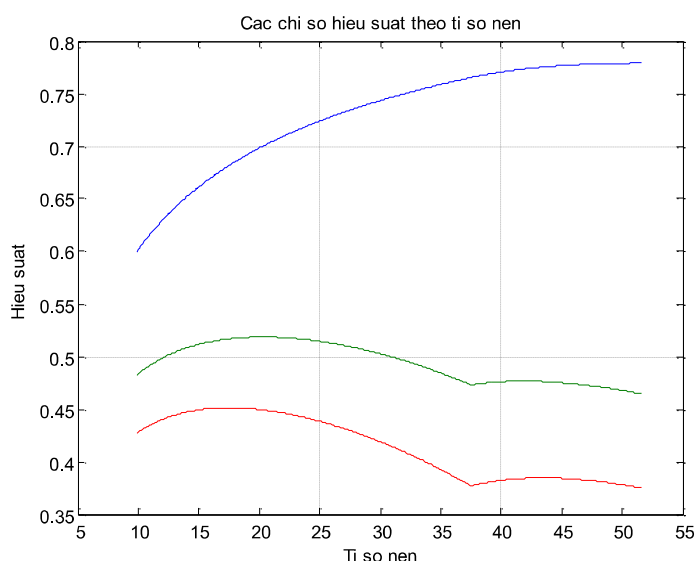
Như vậy, đối với mỗi kiểu loại động cơ cho trước sẽ tồn tại tỉ số nén tối ưu ε_{opt} bảo đảm hiệu suất có ích lớn nhất, dù đã biết rằng, tỉ số nén càng tăng thì hiệu suất nhiệt càng cao. Về lí thuyết, ta có thể xác định được tỉ số nén tối ưu nhờ giải phương trình:

$$\frac{d\eta_e}{d\varepsilon} = \frac{d\eta_i}{d\varepsilon} + \frac{l_{ms}}{q_1^2} \frac{dq_1}{d\varepsilon} = 0 \quad (16)$$

Tuy vậy, phương trình (16) có thể là siêu việt đối với ε vì có chứa các số mũ không phải số nguyên của ε nên có thể không giải được bằng giải tích. Tiện hơn cả là ta khảo sát hàm $\eta_e(\varepsilon)$ trên máy tính để tìm ra giá trị cực đại của $\eta_e(\varepsilon)$ và ε_{opt} tương ứng.

Dưới đây ta xét thử một ví dụ để minh họa: Cho trước $T_{max}=2000K$; $P_{max}=25 MPa$; $\eta_{oidn}=0,9$; $\eta_{oin}=0,95$; $T_a=300 K$; $P_a=0,1 MPa$; công tổn hao cơ giới riêng $l_{ms}=50 kJ/kg$.

Sau khi thiết lập được hàm $\eta_e(\varepsilon)$ với các thông số cho trên, ta vẽ được đồ thị các đường hiệu suất nhiệt, chỉ thị và có ích theo ε như ở hình dưới



Đường cong trên cùng là đường hiệu suất nhiệt, nó đơn điệu tăng khi ε tăng. Các đường cong bên dưới tương ứng là đường hiệu suất chỉ thị và hiệu suất có ích.

Với giới hạn nhiệt độ và áp suất cho trước, thì chu trình cấp nhiệt đẳng áp, ứng với $\varepsilon_p \approx 52$ có hiệu suất nhiệt lớn nhất và bằng $\eta_p \approx 0,78$. Tuy vậy, khi kể đến các tổn thất do không thuận nghịch và tổn hao cơ giới thì các giá trị hiệu suất chỉ thị và có ích lại rất nhỏ so với hiệu suất nhiệt. Trên đồ thị có thể thấy khi $\varepsilon \approx 20$ thì chu trình đạt được hiệu suất chỉ thị lớn nhất, nhưng $\varepsilon \approx 17,5$ thì hiệu suất có ích mới đạt giá trị cao nhất.

3. Kết quả và thảo luận

Công thức (6) đã có trong các giáo trình lí thuyết Nhiệt động [2, 3], tuy vậy chưa được chú ý đến trong các môn học chuyên ngành động cơ để lí giải cơ sở lựa chọn tỉ số nén cho động cơ đốt trong kiểu piston.

Trong ví dụ nêu trên, ở điều kiện môi trường và giới hạn nhiệt độ áp suất cùng mức độ hoàn thiện của thiết bị máy móc (càng hoàn thiện thì hiệu suất trong của các quá trình càng lớn và tổn hao cơ giới càng giảm) thì xác định được hiệu suất có ích của chu trình động cơ đốt trong trong khoảng 50%, tương ứng với tỉ số nén $\varepsilon \approx 17,5$.

Kết quả tính toán trên chỉ là giả định, với hiệu suất trong của các quá trình và công tổn hao cơ giới đơn vị đã biết. Trong thực tế, xác định được các đại lượng tổn thất nói trên bằng các phương pháp lí thuyết là vấn đề khá phức tạp và vượt ra khỏi mục đích của bài báo. Các số liệu đầu vào là do tác giả đề xuất có phần định tính, trên cơ sở các khuyến cáo rằng để đảm bảo hàm lượng NO_x trong giới hạn cho phép, thì nhiệt độ cao nhất trong chu trình khoảng 1700^oC, còn về ứng suất cơ, áp suất P_z của các động cơ hiện nay có thể đạt trên 20 Mpa và hiệu suất có ích các động cơ khoảng 49- 50%. Trong chừng mực giới hạn trên, tỉ số nén tối ưu chỉ có thể tăng (để tăng hiệu suất có ích hơn nữa) nếu tăng được các hiệu suất trong tương đối của các quá trình và giảm tiêu hao cơ giới. Đó các vấn đề khoa học kĩ thuật & công nghệ chuyên sâu.

Bình thường, vẫn có thể xác định được công chỉ thị của chu trình bằng thực nghiệm theo những phương pháp đã biết (vì có thể xác định được nhiệt lượng cấp q₁ và đo được công suất chỉ thị và công có ích). Tuy vậy, xác định bằng thực nghiệm trên cơ sở phương trình (6) thì có lẽ tách bạch hơn và biết được các yếu tố gây tổn thất chính, từ đó có phương hướng cải thiện thiết bị hiệu quả hơn.

4. Kết luận

Lý thuyết cơ sở Nhiệt động học và động cơ đốt trong chỉ ra rằng, để nâng cao hiệu suất nhiệt thì phải tăng nhiệt độ nhiệt động học trung bình của quá trình cấp nhiệt \bar{T}_1 hoặc đối với động cơ đốt trong thì tỉ số nén ϵ . Tuy vậy, trong thực tế các giá trị trên phải ở trong giới hạn nhất định và còn phụ thuộc vào mức độ thuận nghịch của các quá trình cũng như tỉ số $|Z_{\text{mô}}|/q_1$. Các yếu tố trên phụ thuộc vào đặc điểm làm việc (ví dụ, động cơ cao tốc hay thấp tốc), kiểu loại động cơ (tăng áp hay không, phối khí và cấp nhiên liệu điều khiển bằng cơ giới hay điện tử...), công nghệ vật liệu và chế tạo...

Dựa vào công thức (6) và trên cơ sở giả định sơ bộ về hiệu suất trong của các quá trình (trên cơ sở thực tế), ta có thêm cơ sở để xác định phạm vi của ϵ trong thiết kế ban đầu một cách phù hợp và sát thực tế hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] PGS.TS. Lê Xuân Ôn, *Cơ sở nhiệt động kỹ thuật*, Tài liệu giảng dạy cho cao học, ĐHHH.
- [2] PGS.TS. Lê Xuân Ôn, *Cơ sở nhiệt động các chu trình thiết bị nhiệt*. Tài liệu giảng dạy cho cao học, ĐHHH.
- [3] PGS.TS Phạm Lê Dàn, PGS.TS Bùi Hải, *Nhiệt động kỹ thuật*. Trường Đại học Bách khoa Hà Nội. 1994.

Người phản biện: TS. Thẩm Bội Châu; TS. Lê Anh Tuấn

THUẬT TOÁN XÁC ĐỊNH CÁC HỆ SỐ SỨC CẢN XOẮN BẰNG THỰC NGHIỆM PHỤC VỤ TÍNH TOÁN DAO ĐỘNG XOẮN HỆ TRỤC TÀU THỦY THE DETERMINING TORSIONAL VIBRATION DAMPING COEFFICIENTS ALGORITHM FOR COMPUTING MARINE SHAFTING'S VIBRATIONS

TS. NGUYỄN MẠNH THƯỜNG

Khoa Cơ khí, Trường ĐHHH Việt Nam

Tóm tắt

Bài viết trình bày thuật toán xác định các hệ số sức cản trong kết cấu động cơ, hệ trục và thủy động lên chong chóng trong dao động xoắn hệ trục tàu thủy từ kết quả đo dao động. Đo dao động xoắn những hệ trục đã có, biết được đặc tính tần số dao động của chúng thì có thể xác định được những tham số chưa biết bằng các phép biến đổi đại số tuyến tính. Kết quả thu được có thể sử dụng để khái quát hóa và đưa ra các công thức tính toán các hệ số cản phù hợp với thực tế kỹ thuật.

Abstract

This article presents the algorithm of determining torsional vibration damping coefficients in main engines and shafting structures and hydraulic resistances on propellers. After measuring existing shafting's vibrations, we will get the frequency's characteristic of vibrations and can compute the unknown parameters with using linear algebra transformations. The results may be used for generalization and to build formula for determining appropriate to technique damping coefficients.

1. Đặt vấn đề

Việc tính toán dao động xoắn hệ trục tàu thủy còn gặp một số khó khăn trong việc xác định các lực cản trong của vật liệu và kết cấu biên khuỷu, các xi lanh và lực cản của nước lên chong chóng do tính chất phức tạp của bài toán. Lực cản, ma sát bôi trơn v.v... là những đại lượng khó xác định hơn so với lực đàn hồi và lực cưỡng bức khác do chúng là các đại lượng có bậc bé hơn và khó đo lường chính xác hoặc không thể đo lường được trong thực tế. Cho đến nay, thường các đại lượng này được xác định bằng các công thức thực nghiệm hoặc bán thực nghiệm như trong [1]. Tuy vậy, động cơ tàu thủy và chong chóng hiện đại đã khác nhiều so với vài chục năm trước đây về kích thước, đặc điểm kết cấu và bản thân các động cơ, chong chóng hiện đại cũng rất đa dạng về kiểu loại và đặc điểm động lực học. Vì vậy, có thể khẳng định rằng sử dụng các công thức cho các động cơ và chong chóng trước kia là không còn phù hợp nữa, do đó những tính toán theo công thức truyền thống không cho kết quả phù hợp thực tế.