

**PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN ẢNH HƯỞNG CỦA BỘ LÀM MÁT KHÍ ĐẾN  
CÔNG TIÊU HAO CỦA MÁY NÉN KHÍ NHIỀU CẤP TRÊN TÀU THỦY**  
METHOD OF CALCULATING THE EFFECT OF AIR COOLER TO  
DISSIPATED POWER OF THE MULTISTAGE AIR COMPRESSOR ON SHIP

**TS. QUẢN TRỌNG HÙNG**

*Viện Khoa học Cơ sở, Trường ĐHHH Việt Nam*

**Tóm tắt**

*Bài báo giới thiệu phương pháp tính toán các thông số công tác của máy nén khí nhiều cấp và kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của bộ làm mát đến công tiêu hao trong một chu trình công tác của máy nén nhiều cấp dùng trên tàu thủy.*

**Abstract**

*This article presents method of calculating working parameters of the multistage air compressor and result of researching effect of the air cooler to dissipated power in a work cycle of the multistage air compressor on ship.*

**1. Đặt vấn đề**

Hiện nay, vấn đề tiết kiệm năng lượng trong mọi hoạt động của con người đang được cả thế giới hết sức quan tâm. Trên tàu thủy, máy nén khí (MNK) dạng piston là một thiết bị được sử dụng rất nhiều, nó cung cấp khí nén cao áp để khởi động, điều khiển các máy diesel và là công chất cho nhiều hoạt động khác trên tàu. Liên quan đến vấn đề tiết kiệm năng lượng, đã có nhiều nghiên cứu về các ảnh hưởng đến quá trình làm việc của MNK và đề ra các biện pháp cải thiện chế độ làm của nó [4,5]. Trong tài liệu hướng dẫn sử dụng, các hãng chế tạo MNK của Nga, Nhật, Mỹ ... cũng đã đưa ra các khuyến cáo nhằm nâng cao hiệu quả khai thác MNK.

Ở Việt Nam, cũng đã có sự quan tâm đến vấn đề ảnh hưởng của các yếu tố khai thác đến quá trình công tác của MNK, đã chỉ ra các nguyên nhân làm tăng công suất tiêu thụ, nhưng nhìn chung mới mang tính định tính [3].

Trên cơ sở phân tích chu trình công tác và các quá trình nhiệt động học xảy ra trong MNK, có thể đưa ra bài toán để xác định thông số công tác, tính công tiêu hao cho một chu trình công tác của MNK. Từ bài toán đặt ra, có thể sử dụng để phân tích ảnh hưởng bộ làm mát khí trung gian giữa các cấp và các yếu tố khác đến quá trình làm việc của máy nén khí nhiều cấp và đề ra các biện pháp nhằm tiết kiệm năng lượng trong quá trình khai thác của chúng.

**2. Cơ sở tính toán**

Để tính được công tiêu hao của máy nén piston nhiều cấp, trước tiên ta cần xác định công chi phí của một cấp ở điều kiện lý tưởng. Công tiêu hao để thực hiện chu trình công tác biểu diễn bằng diện tích 1-2-3-4 (hình 1) và bằng tổng công của các quá trình hút, đẩy, nén trong một chu trình:

$$L = \int_1^2 V dp, \quad (\text{J}). \quad (1)$$

Công riêng để nén 1 kg không khí sẽ là :

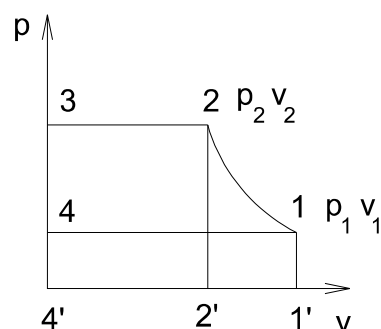
$$l = \frac{L}{G} = \int_1^2 \frac{V dp}{G} = \int_1^2 v \cdot dp, \quad (\text{J/kg}) \quad (2)$$

Trong đó:  $G$  - khối lượng khí nén được đẩy ra sau 1 chu trình làm việc của máy,  $kg$ .

Xét quá trình nén đa biến của khí lý tưởng với chỉ số nén không đổi ( $n = const$ ) ta có:

$$p \cdot v^n = const.$$

Khi viết cho trạng thái đầu và cuối của một quá trình, ta có:  $p_1 \cdot v_1^n = p_2 \cdot v_2^n$ . (3)



Hình 1. Đồ thị tính công chi phí lý tưởng của máy nén piston một cấp

từ đó rút ra: 
$$v_2 = v_1 \left( \frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (4)$$

Mặt khác, phương trình trạng thái của khí có dạng: 
$$p \cdot v = R \cdot T; \quad (5)$$

Trong đó:  $R$ - Hằng số khí, J/kg<sup>0</sup>K;  $v$ - Thể tích riêng của khí, m<sup>3</sup>/kg;  $p$ - Áp suất khí, N/m<sup>2</sup>;  $T$ - Nhiệt độ của khí, <sup>0</sup>K.

Từ các công thức (4 và 5), ta có :

$$T_2 = T_1 \left( \frac{v_1}{v_2} \right)^{n-1} \text{ hay } T_2 = T_1 \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \quad (6)$$

Từ các biểu thức (2 ÷ 6), qua các biến đổi phù hợp, ta có:

$$l = \frac{n}{n-1} \cdot p_1 \cdot v_1 \cdot \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] = \frac{n}{n-1} \cdot R \cdot T_1 \cdot \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]; \quad (\text{J/kg}); \quad (7)$$

Để xác định công nén của máy nén khí piston nhiều cấp, ta cần tính toán các thông số đầu vào và ra của các cấp nén thứ  $l$  ( $l = 1 \div z$ ) là:

- $p_1^l, p_2^l$  : Áp suất của khí tại cửa vào và cửa ra cấp nén thứ  $l$ , N/ m<sup>2</sup>;
- $T_1^l, T_2^l$ : Nhiệt độ của khí tại cửa vào và cửa ra ở cấp nén thứ  $l$ , <sup>0</sup>K
- $v_1^l, v_2^l$ : Thể tích riêng của khí tại cửa vào và cửa ra ở cấp nén thứ  $l$ , kg/m<sup>3</sup>;

Từ công thức 6, nếu ta gọi tỷ số nén của cấp thứ  $l$  là  $m^l$ , với:  $m^l = \frac{p_2^l}{p_1^l}$  ta có:

$$T_2^l = T_1^l \cdot (m^l)^{\frac{n-1}{n}} \text{ và } v_2^l = v_1^l \cdot \left( \frac{1}{m^l} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (8)$$

Với các công thức trên ta có thể tính được các thông số trạng thái khí ở cửa ra của cấp nén thứ  $l$ . Rõ ràng rằng, nhiệt độ không khí trên cửa ra xi lanh nén của cấp thứ  $l$  là  $T_2^l$  sẽ tăng lên. Đối với các máy nén có bộ làm mát khí bằng nước giữa các cấp, có thể coi quá trình truyền nhiệt trong bộ làm mát là quá trình đẳng áp và bỏ qua các yếu tố cản trên đường ống, ta có áp suất khí sau bộ phận làm mát là  $p_3^l$  bằng áp suất trên đầu ra của cấp nén thứ  $l$  là  $p_2^l$ . Để tính toán được  $T_3^l$  một cách chính xác, người ta cần phải căn cứ vào các phương trình:

Phương trình truyền nhiệt: 
$$Q = K \cdot F \cdot \Delta T; \quad (9)$$

và cân bằng nhiệt của bộ làm mát: 
$$G_1 \cdot c_{p1} \cdot \Delta T_1 = G_2 \cdot c_{p2} \cdot \Delta T_2; \quad (10)$$

Trong đó: -  $K$ : Hệ số truyền nhiệt;  $F$ - Diện tích truyền nhiệt;  $\Delta T$ - Độ chênh nhiệt độ trung bình của các công chất vào và ra bộ trao nhiệt;

- $C_{p1}, C_{p2}$ : Nhiệt dung riêng đẳng áp của các công chất (khí và nước), W/kg. <sup>0</sup>K;
- $G_1, G_2$ : Khối lượng của các công chất đi qua bộ trao nhiệt, kg;
- $\Delta T_1, \Delta T_2$ : Độ chênh nhiệt độ trung bình của các công chất đi qua bộ trao nhiệt, <sup>0</sup>K.

Theo sơ đồ hệ thống, kết cấu và diện tích trao nhiệt của bộ truyền nhiệt sẽ tính được  $T_3^l$  và  $v_3^l$ . Tiếp theo, không khí nén lại được đưa vào đầu vào của xi lanh nén cấp thứ  $l+1$ , khi đó các thông số trạng thái khí là: áp suất đầu vào:  $p_1^{l+1} = p_3^l$ ; Nhiệt độ đầu vào:  $T_1^{l+1} = T_3^l$  và thể tích riêng:  $v_1^{l+1} = v_3^l$ .

Sử dụng các công thức từ (6 ÷ 10), tương tự như tính với cấp nén thứ nhất, ta tính được các thông số đầu vào, đầu ra và công tiêu hao của máy nén khí ở các nén số 2 và các cấp nén tiếp theo. Cuối cùng, công riêng tiêu hao lý thuyết cho máy nén với  $z$  cấp là:

$$L_{lt} = l_1 + l_2 + \dots + l_z \quad (11)$$

Trong đó:  $l_i$  là công riêng trên các cấp nén thứ  $i$  được tính công thức (7)

Do có sự khác nhau giữa chu trình thực và chu trình lý thuyết nên công tiêu hao thực của máy nén sẽ lớn hơn công lý thuyết. Công tiêu hao thực được xác định theo công thức :

$$L_{tht} = L_{tt} / \lambda_{th} \quad (12)$$

Trong đó:  $\lambda_{th}$  - Hệ số kể tới các ảnh hưởng làm tăng công tiêu hao thực tế, được xác định theo kinh nghiệm [2].

$$\lambda_{th} = \lambda_{jt} \cdot \lambda_p \cdot \lambda_T \cdot \lambda_k \cdot \lambda_d \quad (13)$$

Trong đó: Các giá trị  $\lambda_j$  được lấy theo các kết quả thực nghiệm, như sau:

$\lambda_{jt}$  - Hệ số ảnh hưởng của khoảng không gian vô ích đến khả năng hút,  $\lambda_{jt} = 0,7 \div 0,9$ ;

$\lambda_p$  - Hệ số áp suất xét đến ảnh hưởng của sự giảm áp suất của khí trong xilanh nén ở cuối quá trình hút do các yếu tố cản,  $\lambda_p = 0,95 \div 0,98$ .

$\lambda_T$  - Hệ số ảnh hưởng của quá trình trao đổi nhiệt giữa khí và thành xi lanh,  $\lambda_T = 0,9 \div 0,95$ ;

$\lambda_k$  - Hệ số làm kín của máy nén,  $\lambda_k = 0,95 \div 0,98$ ;

$\lambda_d$  - Hệ số áp suất xét đến ảnh hưởng của sự giảm áp suất của khí trong xilanh nén ở cuối quá trình đẩy do các yếu tố cản,  $\lambda_d = 0,95 \div 0,98$ .

### 3. Kết quả tính toán và kết luận

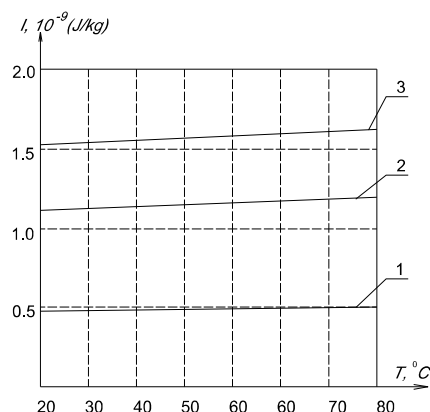
Sử dụng các công thức trên để xây dựng chương trình tính trên phần mềm Matlab, ta có thể khảo sát ảnh hưởng của hiệu quả làm mát khí ở các cấp đến công tiêu hao của máy nén khí. Để làm ví dụ, đã tính cho máy nén khí 3 cấp EKPA-2/150 từ áp suất tiêu chuẩn của môi trường là  $10^5 \text{ N/m}^2$  với: Cấp 1:  $6 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ ; cấp 2:  $30 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$  và cấp 3:  $100 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ . Tính toán được thực hiện trong điều kiện nhiệt độ không khí đầu vào ở cấp 1:  $20^\circ \text{C}$  và khi có bộ làm mát khí nén trung gian đi kèm máy. Kết quả tính toán được giới thiệu trên đồ thị (Hình 2) biểu diễn mối quan hệ của công tiêu hao của các cấp nén khí nhiệt độ của khí nạp vào từng cấp tăng. Từ kết quả cho thấy, khi nhiệt độ khí vào tăng thì công tiêu hao cho một chu trình cũng tăng và ở các cấp 2, 3 sự tăng càng rõ rệt (đồ thị dốc hơn) tương ứng là:

- Ở cấp 1 (đường 1): nếu không khí môi trường tăng  $1^\circ \text{C}$  thì công tiêu hao tăng  $0,043 \div 0,052 \%$ .

- Ở cấp 2 (đường 2): sau bộ làm mát trung gian cấp 1, nhiệt độ khí tăng  $1^\circ \text{C}$  thì công tiêu hao tăng  $0,074 \div 0,083 \%$ .

- Ở cấp 3 (đường 3): sau bộ làm mát trung gian cấp 2, nhiệt độ khí tăng  $1^\circ \text{C}$  thì công tiêu hao tăng  $0,095 \div 1,112 \%$ .

Bài toán trên cũng có thể sử dụng để phân tích các ảnh hưởng của nhiệt độ của môi trường, độ ẩm không khí nạp và độ sụt áp do tổn thất áp suất trên đường nạp, để từ đó có thể đưa ra các biện pháp cải thiện chế độ làm việc của MNK piston nhiều cấp trong quá trình khai thác.



Hình 2. Ảnh hưởng của nhiệt độ khí nạp đến công tiêu hao của MNK nhiều cấp

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Bốn, PTS. Hoàng Ngọc Đồng, "Nhiệt kỹ thuật". NXB Giáo dục, Hà Nội, 1999.
- [2] Nguyễn Đức Sương, Vũ Nam Ngạn, "Giáo trình máy thủy khí". Trường Đại học Mỏ - Địa chất, 2000.
- [3] Trung tâm sản xuất sạch (VCPC) Bản dịch: "Nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng với máy nén và hệ thống khí nén". (PECSME). <http://www.ecsme.com.vn>. 2010.
- [4] Confederation of Indian Industries, "Manual on compressors and compressed air systems". <http://greenbusinesscentre.com/documents/compressor.pdf>.
- [5] Sustainable Energy Development Office Government of Western Australia. "Compressed air systems". [www1.sedo.energy.wa.gov.au](http://www1.sedo.energy.wa.gov.au). 2002.
- [6] US Department of Energy (US DOE). "Energy efficiency and renewable energy, improving compressed air system performance". [www.oit.doe.gov/bestpractices/compressed-air](http://www.oit.doe.gov/bestpractices/compressed-air). 2003.

Người phản biện: TS. Nguyễn Mạnh Thường