

**NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG  
CỦA ĐỒNG THỜI NHIỆT ĐỘ VÀ ÁP SUẤT LÊN SỰ THAY ĐỔI  
NHIỆT DUNG RIÊNG ĐẲNG ÁP CỦA KHÔNG KHÍ TRONG MÁY NÉN KHÍ  
STUDY SIMUTANOUS EFFECTS OF P AND T ON AIR'S ISOBARIC HEAT  
ON CAPACITY IN GAS TURBINE COMPRESSOR**

**PGS.TS ĐÀO TRỌNG THẮNG,  
TS NGUYỄN TRUNG KIÊN,  
Học viện Kỹ thuật quân sự**

**Tóm tắt**

Bài báo đưa ra mô hình mới cho phép tính đến ảnh hưởng của đồng thời nhiệt độ và áp suất lên nhiệt dung riêng của không khí trong máy nén khí của động cơ tua bin khí.

**Abstracts**

This paper shows a new calculation model to simutanous effects of p and t on air's isobaric heat capacity in the gas turbine compressor.

**1. Đặt vấn đề**

Trong quá trình nén không khí trong máy nén khí (MNK) và quá trình giãn nở của khí cháy trong các tua bin (TB) của động cơ tua bin khí, nhiệt dung riêng đẳng áp của môi chất công tác  $c_p = \frac{k \cdot R}{k - 1}$ ,  $R$  – hằng số khí, thay đổi do nhiệt độ và áp suất của không khí và khí cháy thay đổi.

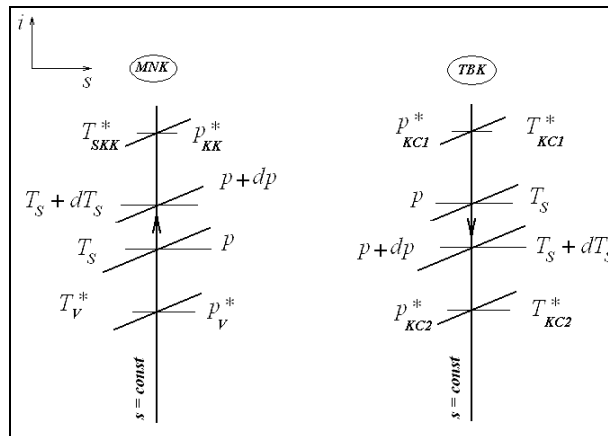
Trong các mô hình tính toán chu trình công tác của động cơ tua bin khí, người ta thường coi nhiệt dung riêng là hằng số [1, 2, 3, 4] và lấy bằng giá trị trung bình của nhiệt dung riêng đầu và cuối quá trình nén hoặc giãn nở. Bài báo này đưa ra một mô hình mới cho phép tính đến ảnh hưởng của cả nhiệt độ và áp suất lên nhiệt dung riêng của môi chất công tác trong các quá trình nén và giãn nở bên trong MNK và các tua bin của động cơ tua bin khí.

**2. Cơ sở lý thuyết**

Trên một phần tử vô cùng nhỏ của quá trình nén đoạn nhiệt không khí trong MNK (hoặc giãn nở của khí cháy), ta có

$$\frac{p + dp}{p} = \left( \frac{T_s + dT_s}{T_s} \right)^{\frac{k}{k-1}} \approx 1 + \frac{k}{k-1} d \ln T_s \quad (1)$$

từ đó  $\frac{dp}{p} \approx \left( 1 + \frac{1}{k-1} \right) \frac{dT_s}{T_s}$



**Hình 1. Sự biến đổi các thông số của không khí (KK) và khí cháy (KC) trong các phần tử của động cơ tua bin khí.**

Giả sử rằng  $\frac{k}{k-1} = \frac{f(\bar{T}_s)}{F(\bar{p})}$ , trong đó  $\bar{T}_s = \frac{T_s}{1000}$  và  $\bar{p} = \frac{p}{100000}$ , khi đó mối liên hệ giữa

sự thay đổi áp suất  $\bar{p}$  và nhiệt độ  $\bar{T}_s$  trong quá trình đoạn nhiệt  $F(\bar{p}) \frac{1}{\bar{p}} d\bar{p} = f(\bar{T}_s) \frac{1}{T_s} d\bar{T}_s$  có thể đưa về dạng phương trình vi phân tách biến được. Nếu  $F(\bar{p}) = b_2(\bar{p})^2 + b_1(\bar{p}) + b_0$  và  $f(\bar{T}_s) = a_2(\bar{T}_s)^2 + a_1(\bar{T}_s) + a_0$  thì đối với quá trình nén không khí trong máy nén khí hướng trục, ta có

$$\int_0^{\pi_K} \left[ b_2 \bar{p} + b_1 + b_0 \frac{1}{\bar{p}} \right] d\bar{p} = \int_0^{\pi_K} \left[ a_2 \bar{T}_s + a_1 + a_0 \frac{1}{\bar{T}_s} \right] d\bar{T}_s \quad (2)$$

hay

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} b_2 \cdot (\bar{p}_V^*)^2 \cdot [(\pi_K^*)^2 - 1] + b_1 \cdot (\bar{p}_V^*) \cdot [\pi_K^* - 1] + b_0 \cdot \ln \pi_K^* = \\ & = \frac{1}{2} a_2 \cdot (\bar{T}_V^*)^2 \cdot \left[ \left( \frac{T_{SKK}^*}{T_V^*} \right)^2 - 1 \right] + a_1 \cdot (\bar{T}_V^*) \cdot \left[ \left( \frac{T_{SKK}^*}{T_V^*} \right) - 1 \right] + a_0 \cdot \ln \frac{T_{SKK}^*}{T_V^*}. \end{aligned} \quad (3)$$

Ta có thể xác định được nhiệt độ của không khí cuối quá trình nén đoạn nhiệt trong máy nén khí hướng trục  $T_{SKK} = 1000 \cdot \bar{T}_{SKK}$  và công của quá trình nén đoạn nhiệt không khí trong máy nén khí  $H_{SKK}^* = c_{PKKSK} T_{SK}^* - c_{PKK,V} T_V^*$ , trong đó các nhiệt dung riêng  $c_{PKKSK} = c(T_{SKK}^*)$  và  $c_{PKK,V} = c(T_V^*)$ , theo giá trị cho trước của tỷ số nén không khí trong máy nén khí  $\pi_K^* = \frac{P_{KK}^*}{P_V^*} = \frac{\bar{p}_{KK}^*}{\bar{p}_V^*}$ , trong đó  $p_V^*$  và  $T_V^*$  - áp suất và nhiệt độ dừng của không khí ở đầu vào máy nén khí.

Như vậy, ta có thể viết (3) thành

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} b_2 \cdot \bar{p}_0^2 \cdot (\pi_K^2 - 1) + b_1 \cdot \bar{p}_0 \cdot (\pi_K - 1) + b_0 \ln \pi_K = \\ & = \frac{1}{2} a_2 \cdot \bar{T}_0^2 \cdot \left[ \left( \frac{\bar{T}_{SKK}}{\bar{T}_0} \right)^2 - 1 \right] + a_1 \cdot \bar{T}_0 \cdot \left( \frac{\bar{T}_{SKK}}{\bar{T}_0} - 1 \right) + a_0 \ln \frac{\bar{T}_{SKK}}{\bar{T}_0}, \end{aligned} \quad (4)$$

Các hệ số  $b_2, b_1, b_0, a_2, a_1$  và  $a_0$  trong phương trình (4) được xác định bằng cách giải 6 phương trình thuần nhất dạng

$$\left( \frac{k_i}{k_i - 1} \right) [b_2(\bar{p}_j)^2 + b_1(\bar{p}_j) + b_0] - a_2(\bar{T}_\alpha)^2 - a_1(\bar{T}_\alpha) - a_0 = 0, \quad i, j, \alpha = 1, \dots, 6 \quad (5)$$

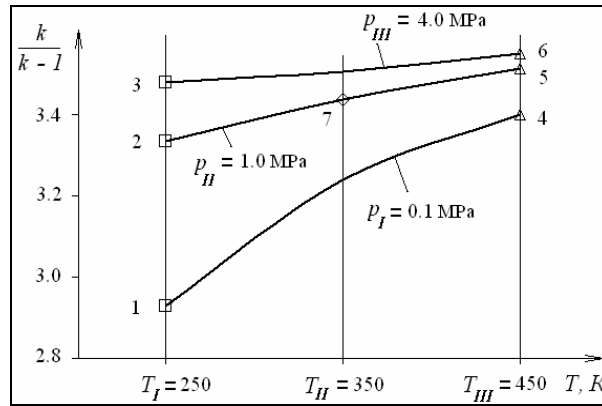
nhận được khi ta sử dụng số liệu  $k = k(\bar{p}, \bar{T})$  (được cho trong Cẩm nang về tính chất vật lý của các chất khí và chất lỏng[5]), được quy về dạng  $\frac{k}{k-1} = \frac{c_p}{R} = \Phi(\bar{p}, \bar{T})$  (hình 2).

Theo tính chất vật lý của không khí, các hệ số  $b_2, b_1, b_0, a_2, a_1$  và  $a_0$  không thể cùng đồng thời bằng không, giả sử  $b_0 \neq 0$ , chia cả hai vế (5) cho  $b_0$  ta được

$$\left(\frac{k}{k-1}\right) \cdot (\bar{p})^2 \cdot \frac{b_2}{b_0} + \left(\frac{k}{k-1}\right) \cdot \bar{p} \cdot \frac{b_1}{b_0} - (\bar{T})^2 \cdot \frac{a_2}{b_0} - (\bar{T}) \cdot \frac{a_1}{b_0} - \frac{a_0}{b_0} = -\left(\frac{k}{k-1}\right)$$

hoặc viết gọn hơn (đặt  $\bar{b}_2 = \frac{b_2}{b_0}; \bar{b}_1 = \frac{b_1}{b_0}; \bar{a}_2 = \frac{a_2}{b_0}; \bar{a}_1 = \frac{a_1}{b_0}; \bar{a}_0 = \frac{a_0}{b_0}$ )

$$\left(\frac{k}{k-1}\right) \cdot (\bar{p})^2 \cdot \bar{b}_2 + \left(\frac{k}{k-1}\right) \cdot \bar{p} \cdot \bar{b}_1 - (\bar{T})^2 \cdot \bar{a}_2 - (\bar{T}) \cdot \bar{a}_1 - \bar{a}_0 = -\left(\frac{k}{k-1}\right) \quad (6)$$



Hình 2. Các điểm đặc trưng giúp xác định các hệ số  $\bar{a}_2, \bar{a}_1, \bar{a}_0, \bar{b}_2$  và  $\bar{b}_1$ .

Để xác định  $\bar{b}_2$  và  $\bar{b}_1$  ta lập hệ phương trình

$$\left\{ \begin{aligned} & \left[ \left(\frac{k_3}{k_3-1}\right) \cdot (\bar{p}_{III})^2 \cdot \bar{b}_2 + \left(\frac{k_3}{k_3-1}\right) \cdot \bar{p}_{III} \cdot \bar{b}_1 - (\bar{T}_I)^2 \cdot \bar{a}_2 - (\bar{T}_I) \cdot \bar{a}_1 - \bar{a}_0 = -\left(\frac{k_3}{k_3-1}\right); \right. \\ & \left[ \left(\frac{k_1}{k_1-1}\right) \cdot (\bar{p}_I)^2 \cdot \bar{b}_2 + \left(\frac{k_1}{k_1-1}\right) \cdot \bar{p}_I \cdot \bar{b}_1 - (\bar{T}_I)^2 \cdot \bar{a}_2 - (\bar{T}_I) \cdot \bar{a}_1 - \bar{a}_0 = -\left(\frac{k_1}{k_1-1}\right); \right. \\ & \left[ \left(\frac{k_6}{k_6-1}\right) \cdot (\bar{p}_{III})^2 \cdot \bar{b}_2 + \left(\frac{k_6}{k_6-1}\right) \cdot \bar{p}_{III} \cdot \bar{b}_1 - (\bar{T}_{III})^2 \cdot \bar{a}_2 - (\bar{T}_{III}) \cdot \bar{a}_1 - \bar{a}_0 = -\left(\frac{k_6}{k_6-1}\right); \right. \\ & \left[ \left(\frac{k_4}{k_4-1}\right) \cdot (\bar{p}_I)^2 \cdot \bar{b}_2 + \left(\frac{k_4}{k_4-1}\right) \cdot \bar{p}_I \cdot \bar{b}_1 - (\bar{T}_{III})^2 \cdot \bar{a}_2 - (\bar{T}_{III}) \cdot \bar{a}_1 - \bar{a}_0 = -\left(\frac{k_4}{k_4-1}\right). \right. \end{aligned} \right. \quad (7)$$

ứng với các điểm 1, 3, 4, 6 trên hình 2.

Để xác định  $\bar{a}_2, \bar{a}_1$  và  $\bar{a}_0$ , ta lập hệ (ứng với các điểm 2, 7, 5)

$$\begin{cases} \left(\frac{k_2}{k_2-1}\right) \cdot (\bar{p}_{II})^2 \cdot \bar{b}_2 + \left(\frac{k_2}{k_2-1}\right) \cdot \bar{p}_{II} \cdot \bar{b}_1 - (\bar{T}_I)^2 \cdot \bar{a}_2 - (\bar{T}_I) \cdot \bar{a}_1 - \bar{a}_0 = -\left(\frac{k_2}{k_2-1}\right); \\ \left(\frac{k_7}{k_7-1}\right) \cdot (\bar{p}_{II})^2 \cdot \bar{b}_2 + \left(\frac{k_7}{k_7-1}\right) \cdot \bar{p}_{II} \cdot \bar{b}_1 - (\bar{T}_{II})^2 \cdot \bar{a}_2 - (\bar{T}_{II}) \cdot \bar{a}_1 - \bar{a}_0 = -\left(\frac{k_7}{k_7-1}\right); \\ \left(\frac{k_5}{k_5-1}\right) \cdot (\bar{p}_{II})^2 \cdot \bar{b}_2 + \left(\frac{k_5}{k_5-1}\right) \cdot \bar{p}_{II} \cdot \bar{b}_1 - (\bar{T}_{III})^2 \cdot \bar{a}_2 - (\bar{T}_{III}) \cdot \bar{a}_1 - \bar{a}_0 = -\left(\frac{k_5}{k_5-1}\right). \end{cases} \quad (8)$$

Giải các hệ phương trình (8) và (10) ta nhận được  $\bar{a}_2 = 8.719$ ,  $\bar{a}_1 = -12.142$ ,  $\bar{a}_0 = -20.016$ ,  $\bar{b}_2 = 0.025$  и  $\bar{b}_1 = -1.025$ , khi đó

$$\frac{k}{k-1} = \frac{[\bar{a}_2 \cdot (\bar{T})^2 + \bar{a}_1 \cdot \bar{T} + \bar{a}_0]}{[\bar{b}_2 \cdot (\bar{p})^2 + \bar{b}_1 \cdot \bar{p} + 1]} = \frac{[8.719 \cdot (\bar{T})^2 - 12.142 \cdot \bar{T} - 20.016]}{[0.025 \cdot (\bar{p})^2 - 1.025 \cdot \bar{p} + 1]} \quad (9)$$

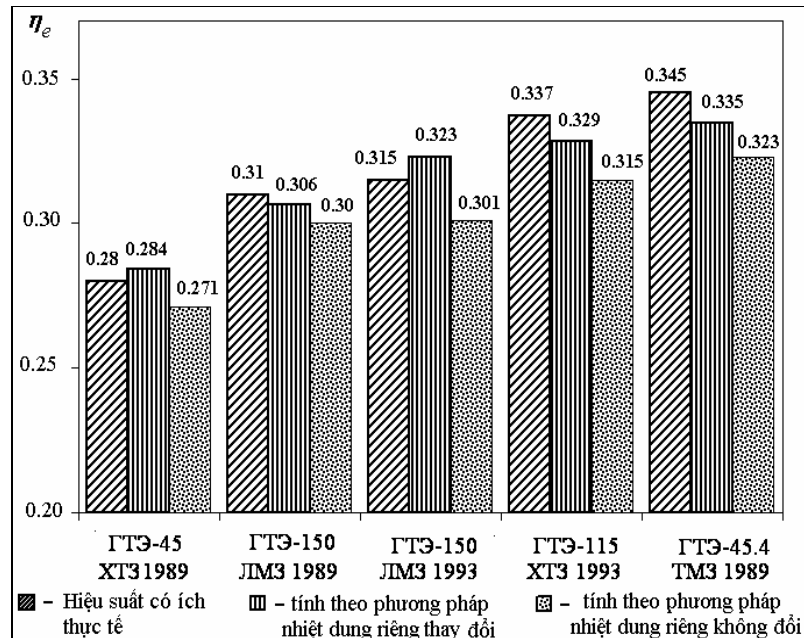
và các nhiệt dung đẳng áp  $c_p = \frac{k \cdot R}{k-1} \left( \frac{J}{kg \cdot K} \right)$ , đẳng tích

$$c_v = c_p - R = R \cdot \left( \frac{k}{k-1} - 1 \right) \left( \frac{J}{kg \cdot K} \right).$$

Bằng cách tương tự, chúng ta có thể xác định được các hệ số của mô hình tính toán sự ảnh hưởng của đồng thời nhiệt độ áp suất của khí đốt lên nhiệt dung đẳng áp của nó trong quá trình giãn nở trong các tua bin của động cơ tua bin khí.

### 3. Kết quả ứng dụng mô hình

Sử dụng mô hình nói trên để tính toán nhiệt các động cơ tua bin khí khác nhau, ta nhận được kết quả như trên hình 3.



Hình 3. So sánh kết quả tính toán nhiệt động cơ tua bin khí theo các phương pháp tính khác nhau.

Kết quả nhận được cho phép ta kết luận rằng, mô hình tính toán ảnh hưởng của đồng thời nhiệt độ và áp suất lên nhiệt dung riêng của không khí trong quá trình nén trong máy nén khí cho ta kết quả gần với các giá trị hiệu suất thực của các động cơ hơn. Đó chính là ưu điểm của mô hình mà các tác giả bài báo đề xuất. Tuy nhiên, mô hình này cũng có hạn chế so với các mô hình truyền thống là cồng kềnh và phức tạp hơn. Rất may, hạn chế này có thể khắc phục được nhờ sử dụng các công cụ và chương trình tính toán trên máy tính.

#### **TÀI LIỆU THAM KHẢO**

- [1] Маслов, Л.А. Судовые газотурбинные установки. - Л.: Судостроение, 1973.-400с.
- [2] Шнеэ, Я.И. Газовые турбины. М.: Машгиз, 1960г.
- [3] Стационарные газотурбинные установки/ Справочник под ред. Л.В. Арсеньева, В.Г. Тырышкин. - Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1989.
- [4] Nguyễn Văn Châu. Động cơ tua bin khí tàu thủy. HVKTQS, 1997.
- [5] Варгафтик, Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей: 2-ое изд.М.: Наука, 1972. -721с.
- [6] Нгуен Чунг Киен. Эффективность газотурбинного двигателя с паровым теплоутилизационным контуром/ Б.И. Мамаев, Ю.И. Митюшкин, Нгуен Чунг Киен. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2006. № 6 . - С.32 – 36 .

---

***Người phản biện: PGS.TS. Vy Hữu Thành***

---