

MỘT PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN KHỐI LƯỢNG LIỀU THUỐC MÒI

A METHOD FOR CALCULATING THE MASS OF IGNITER CHARGE

TS. Nguyễn Quang Lượng, TS. Nguyễn Nam Quý, TS. Lê Hữu Ban

Khoa Vũ khí, Học viện Kỹ thuật Quân sự, Bộ Quốc phòng

TÓM TẮT

Bài báo trình bày một phương pháp tính toán khối lượng thuốc mồi, áp dụng cho thuốc mồi ДПП-2. Kết quả tính toán được so sánh với dữ liệu chuẩn và đánh giá trên động cơ tên lửa nhiên liệu rắn thử nghiệm. Các kết quả tính toán phù hợp với giá trị tiêu chuẩn và thực nghiệm.

Từ khóa: Mồi cháy; Thiết bị mồi; Khối lượng thuốc mồi.

ABSTRACT

The article presents a method to calculate the weight of igniter charges, applied to a igniter charge as ДПП-2. Calculation results are compared with standard data and evaluated on an experimental solid-fuel rocket engine. The calculated results are consistent with standard and experimental values.

Keywords: Ignition; Igniter; Mass of igniter charge.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Sự cháy của liều phóng trong động cơ tên lửa nhiên liệu rắn (ĐTR) được mồi cháy nhờ thiết bị mồi. Các thiết bị mồi tạo ra các điều kiện ban đầu trong buồng đốt để đưa ĐTR vào chế độ làm việc cơ bản, nó cần đảm bảo: Nung nóng bề mặt của liều phóng đến nhiệt độ cần thiết để nhiên liệu bắt đầu cháy, tạo ra gradient nhiệt cần thiết trong nhiên liệu, tạo ra trong buồng đốt áp suất để nhiên liệu cháy ổn định.

Sự mồi cháy của liều phóng và tính toán liều thuốc mồi đã được trình bày trong nhiều tài liệu [1, 3, 4, 5], đã có tiêu chuẩn quân sự về thiết kế, đảm bảo an toàn cho thiết bị mồi

[6], tuy nhiên đối với động cơ cụ thể cần có lựa chọn phương pháp phù hợp.

2. SỰ MỒI CHÁY, PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN KHỐI LƯỢNG LIỀU THUỐC MỒI

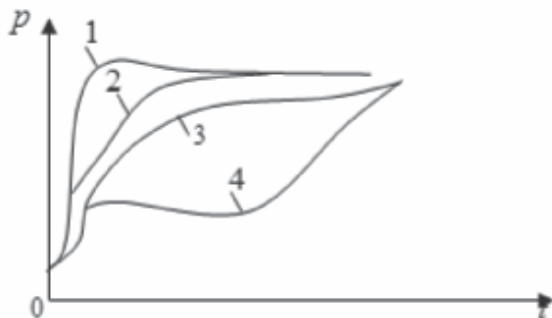
2.1. Thiết bị mồi và yêu cầu đối với thiết bị mồi

Thiết bị mồi thường có cấu tạo gồm: Hộp thuốc mồi, mồi lửa điện, thuốc mồi. Thiết bị mồi có thể có cấu tạo kiểu hộp, kiểu mặt bích với thân phá hủy, kiểu giỏ hoặc là một động cơ tên lửa làm nhiệm vụ mồi cháy [4]. Thuốc mồi là thuốc phóng đen hoặc các thành phần hoá thuật, ở các động cơ có $d > 1\text{m}$ là hỗn hợp các kim loại (Al, Mg) và peclorat kali KClO_4 hoặc nitrat kali KNO_3 .



Thiết bị môi cần thỏa mãn các yêu cầu đảm bảo môi cháy tin cậy liệu chính trong khoảng rộng của nhiệt độ ban đầu, có kích thước và khối lượng nhỏ, khi làm việc áp suất trong buồng đốt tăng giảm đều đặn, không gây ra vết nứt trong liệu phóng, thời gian môi cháy nhỏ, có khả năng cất giữ lâu dài mà không thay đổi các thông số làm việc. Các đường cong áp suất điển hình trong thời kỳ khởi động động cơ được biểu diễn trên Hình 1 [3].

Loại thuốc môi, khối lượng thuốc môi, vị trí đặt thuốc môi, nhiệt độ ban đầu, thành phần hoá học, thành phần sản phẩm cháy của thuốc môi, tốc độ chuyển động của nó dọc theo bề mặt cháy của liệu chính, hình dạng đường thoát khí, v.v... sẽ ảnh hưởng đến quá trình môi cháy liệu phóng.



Hình 1. Sự thay đổi áp suất theo thời gian trong thời kỳ môi cháy:

1. Sự môi cháy diễn ra với tốc độ lớn; 2, 3. Sự môi cháy với sự trễ về thời gian;
4. Sự môi cháy nhiên liệu sau khi nắp bịt kín bị phá hủy

2.2. Phương pháp tính toán khối lượng liệu thuốc môi

Khi thiết kế thiết bị môi cần phải tiến hành một số lựa chọn, tính toán trong đó tính toán khối lượng thuốc môi có ý nghĩa quan trọng. Để tính toán khối lượng thuốc môi, có thể sử dụng các công thức lý thuyết và kinh nghiệm.

Trong đó, một số công thức kinh nghiệm không chính xác cho một số sơ đồ kết cấu ĐTR, cần phải kết hợp với tính toán lý thuyết để đảm bảo độ chính xác, chẳng hạn kết cấu ĐTR với thuốc môi loại ДПИ-2. Bài báo trình bày một phương pháp tính khối lượng thuốc môi dựa trên cơ sở mô hình toán mô tả hiện tượng môi cháy với các giả thiết hợp lý [5].

Đối với các loại thuốc đen được sử dụng trong thực tế, có thể coi tốc độ cháy của chúng không phụ thuộc vào áp suất và là 0,07 m/s. Giả sử rằng tất cả các hạt thuốc cháy đồng thời, thời gian cháy của thuốc môi có thể được xác định từ mối quan hệ: $t_m = e_m / u_m$.

Áp suất mà thiết bị môi cung cấp cần nằm trong giới hạn $p = (0,3 \div 0,5)p_k$, khối lượng không khí tại thời điểm ban đầu trong buồng đốt được xác định theo biểu thức: $m_{kk} = \rho_{kk} \cdot W_{k0}$, trong đó ρ_{kk} , W_{k0} là mật độ không khí và thể tích tự do ban đầu của buồng đốt. Do thể tích tự do của buồng đốt có sự thay đổi nhỏ trong quá trình cháy của thiết bị môi nên ta chấp nhận $W_k = W_{k0}$.

Khối lượng cần thiết của thuốc môi m_m^{ct} được xác định từ kết quả giải hệ phương trình vi phân về cân bằng nhiệt và khối lượng trong quá trình cháy của thuốc môi và được biểu diễn như sau [5]:

$$m_m^{ct} = S_m \rho_m e_m \frac{1 - e^{-m}}{m} \quad (1)$$

Khi tính đến khối lượng không khí trong thể tích tự do của động cơ tên lửa nhiên liệu rắn, khối lượng của thuốc môi được xác định gần đúng theo biểu thức:

$$m_m = \frac{m_m^{ct}}{\sqrt{1 - \frac{m_{kk}}{m_m^{ct}}}}$$

Trong thời gian thuốc môi cháy, có thể tính toán bề mặt cháy ban đầu cần thiết của thuốc môi S_m , thời gian $t_m^{\max}$ để đạt được áp suất lớn nhất $p_{m_{\max}}$ [5]:

$$S_m = \frac{p_m}{y_{\max}} \left(\frac{y_1}{y_2} \frac{y_{\max} - y_2}{y_{\max} - y_1} \right)^{\frac{c_3 m}{c_1 (y_1 - y_2) t_m}};$$

$$p_m(t) = \frac{y_1 - y_1 e^{-\frac{c_1 (y_1 - y_2) t}{c_3}}}{1 - \frac{y_1}{y_2} e^{-\frac{c_1 (y_1 - y_2) t}{c_3}}} S_m e^{-\frac{t}{\tau_m}};$$

$$t_m^{\max} = \frac{c_3}{c_1 (y_1 - y_2)} \ln \left(\frac{y_1}{y_2} \frac{y_{\max} - y_2}{y_{\max} - y_1} \right). \quad (2)$$

Các hệ số trong biểu thức (1) và (2) có dạng [5]:

$$c_1 = \frac{k_m \cdot A_{km}^2 \cdot F_{th}^2}{u_m^2 \cdot \rho_m^2} \left(1 - n \cdot \frac{m_{kk}}{m_m} \right)^{-1},$$

$$c_2 = (k_m - 1) \frac{\psi \cdot \alpha_m}{R_m} \frac{F_{tlp}}{u_m} \frac{1}{\rho_m},$$

$$c_{21} = c_2 - \frac{m W_{cs}}{t_m \cdot u_m \cdot \rho_m},$$

$$c_3 = \frac{W_{cs}}{u_m \rho_m}, \quad c = (k_m - 1) Q_m,$$

$$y_{1,2} = -\frac{c_{21}}{2c_1} \pm \sqrt{\left(\frac{c_{21}}{2c_1} \right)^2 + \frac{c}{c_1}},$$

$$y_{\max} = -\frac{c_2}{2c_1} + \sqrt{\left(\frac{c_2}{2c_1} \right)^2 + \frac{c}{c_1}},$$

$$A_{km} = \sqrt{k_m \left(\frac{2}{k_m + 1} \right)^{\frac{k_m + 1}{k_m - 1}}}.$$

Trong đó, $0 < n < 1$ là hệ số xét đến ảnh hưởng của không khí trong buồng đốt, m là hệ số suy biến của hình dạng thuốc đen. Giá trị m giới hạn trong khoảng $0 < m < 3$, giá trị m lớn đặc trưng cho thuốc đen hình cầu. Hệ số truyền nhiệt α_m đối với thành cách nhiệt có thể lấy $\alpha_m = 0,13 \text{ kJ.m/(s.K.kg)}$ và đối với thành thép $\alpha_m = 0,42 \text{ kJ.m/(s.K.kg)}$. Hệ số ψ , đặc trưng cho tỷ số nhiệt độ thành buồng đốt và sản phẩm cháy, lấy trong khoảng $0,5 \div 0,7$.

Bề mặt của không gian trước loa phụt F_{tlp} , bao gồm cả phần côn của loa phụt, có thể xác định từ biểu thức $F_{tlp} \approx 2,5 \cdot \pi \cdot D_k^2 / 4$ [5], trong đó D_k là đường kính trong của buồng đốt. Đối với thuốc đen, ta có: $\rho_m = 1750 \text{ kg/m}^3$; $Q_m = 3,06 \text{ MJ/kg}$; $k_m \approx 1,1$; tốc độ cháy trung bình của thuốc đen $u_m \approx 0,07 \text{ m/s}$; hằng số khí $R_m = 250 \text{ J/(kg.K)}$. Có thể lấy hệ số suy biến của hình dạng thuốc đen $m = 2$.

Ví dụ tính toán khối lượng thuốc môi loại ДПИ-2 cho động cơ thí nghiệm có các thông số: Áp suất làm việc $p_k \approx 9,0 \text{ MPa}$; đường kính trong của buồng đốt $D_k = 0,04 \text{ m}$; Đường kính tiết diện tới hạn của loa phụt $d_{th} = 0,008 \text{ m}$; Thuốc phóng RSI-12M hình trụ một lỗ, đường kính ngoài và trong là $d_{ng} = 0,035 \text{ m}$, $d_{tr} = 0,014 \text{ m}$, chiều dài thổi thuốc $L_{th} = 0,12 \text{ m}$; thể tích tự do ban đầu của buồng đốt $W_{k0} = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ [2].

Xác định thời gian cháy của thuốc đen ДПИ-2 có bề dày cháy $e_m \approx 0,002 \text{ m}$:

$$t_m = \frac{e_m}{u_m} = \frac{0,002}{0,07} = 0,028 \text{ s.}$$



Bề mặt của không gian trước loa phụt:

$$F_{típ} = 2,5 \frac{D_k^2}{4} = 2,5 \frac{0,04^2}{4} = 0,001$$

Từ (2), áp suất mà thiết bị môi cần đảm bảo: $p_m = 0,4.p_k = 0,4.9,0 = 3,6$ MPa.

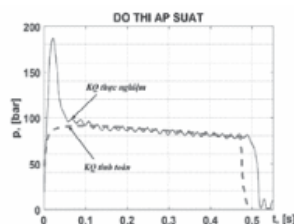
Thay các thông số của thuốc môi ДПП-2 vào công thức (3), tìm được giá trị các hệ số như sau: $A_{km} = 0,628$; $c = 0,306.106$ J/kg.

Bỏ qua ảnh hưởng của không khí đến quá trình môi cháy ($n = 0$), ta có:

$$c_1 = 7,3.10^{-14}; c_2 = 2,55.10^{-7}; \\ c_{21} = -5,8.10^{-5}; c_3 = 0,816.10^{-6}; y_1 = 2,4828.10^9; \\ y_2 = -1,6883.10^9; y_{max} = 2,0456.10^9.$$

Thay các hệ số vừa tìm được vào (2), thu được: Thời gian đạt áp suất lớn nhất của khí thuốc môi: $t_m^{max} = 6,78.10^{-3}$ (s); bề mặt cháy ban đầu cần thiết của thuốc môi: $S_m = 2,85.10^{-3}$ m²; $m_m^{ct} = 4,31.10^{-3}$ kg; $m_m = 4,53.10^{-3}$ kg.

Kết quả thử nghiệm động cơ với các thông số như ví dụ tính toán cho thấy: Với khối lượng thuốc môi $4,5.10^{-3}$ kg, động cơ môi cháy tin cậy, làm việc ổn định, các đặc trưng của quá trình làm việc, hình ảnh làm việc của động cơ thể hiện trên Hình 2 [2].



Hình 2. Động cơ trên giá thử và quy luật thay đổi áp suất trong buồng đốt

3. KẾT LUẬN

Phương pháp được giới thiệu ở trên có thể sử dụng để tính toán khối lượng thuốc môi cho các động cơ tên lửa nhiên liệu rắn, phục vụ cho các giai đoạn thử nghiệm động cơ.

Nội dung của phương pháp cho phép đánh giá ảnh hưởng của một số yếu tố đến đặc trưng của giai đoạn môi cháy như thời gian cháy của thuốc môi, thời gian khí thuốc môi đạt áp suất lớn nhất,... ♦

Ngày nhận bài: **12/10/2023**

Ngày phản biện: **20/12/2023**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Phạm Thiện Hân, Mai Quang Huy, Nguyễn Hải Minh, Nguyễn Quang Tuấn; *Động cơ tên lửa nhiên liệu rắn*, Học viện Kỹ thuật Quân sự, Hà Nội, 2012.
- [2]. Nguyễn Thế Dũng, Báo cáo tổng kết đề tài “*Nghiên cứu, tính toán, thiết kế và chế tạo mẫu động cơ tên lửa nhiên liệu rắn lớp lực đẩy nhỏ đa mục đích*”, Học viện Kỹ thuật Quân sự, Hà Nội, 2021.
- [3]. А.М. Вилицкий Ракетные двигатели на твердом топливе, Машиностроение, Москва, 1973.
- [4]. И.О. Толкачева, М.А. Максимов, И.Е. Никитина, Исследование и расчет РДТТ, Ч.1, Исследование и расчет автономного горения воспламенителя, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 2011.
- [5]. Б. В. Орлов, Г. Ю. Мазинг, Термодинамические и баллистические основы проектирования ракетных двигателей на твердом топливе, Машиностроение, Москва, 1979.
- [6]. MIL-STD-1901, Munition Rocket And Missile Motor Ignition System Design, Safety Criteria For.