

VỀ MỘT GIẢI PHÁP KÉO DÀI THỜI GIAN LÀM VIỆC Ở CHẾ ĐỘ CHÁY CẬN ỔN ĐỊNH CỦA ĐỘNG CƠ TÊN LỬA NHIÊN LIỆU RẮN

A SOLUTION TO EXTENT THE WORKING TIME AT THE ASYMPTOTIC STABILITY COMBUSTION MODE OF SOLID-PROPELLANT ROCKET MOTOR

Trần Ngọc Thanh

Viện Khoa học và Công nghệ Quân sự



TÓM TẮT

Trong bài báo trình bày giải pháp tính toán thiết kế nhằm kéo dài thời gian làm việc ở chế độ cận ổn định của động cơ tên lửa nhiên liệu rắn, dùng thời thuốc phóng RSI-12M. Giải pháp được kiểm chứng bằng cách so sánh số liệu tính toán và thông số thử nghiệm của động cơ mẫu.

Từ khóa: Tên lửa, công nghệ tên lửa, động cơ nhiên liệu rắn.

ABSTRACT

This paper presents the calculation solution to extent the working time at the asymptotic stability combustion mode of the solid-propellant RSI-12M rocket motor. The solution is verified by comparing the calculation data and test parameters of the sample motor.

Keywords: Missile, missile technology, solid-propellant motor.

1. MỞ ĐẦU

Hiện nay tại Việt Nam, việc chế tạo thuốc phóng có kích thước, hình dạng bất kỳ rất khó khăn, đòi hỏi năng lực cao về công nghệ đặc thù như: Công nghệ điều chế thuốc, công nghệ ép tạo hình dạng thời thuốc...Được sản xuất công nghiệp hiện nay là thuốc phóng keo RSI-12M và FSG-2. Các loại thuốc phóng này có bề dày cháy ngắn. Ở chế độ làm việc cận ổn định (áp suất lớn hơn 4 Mpa), các loại động cơ nhiên liệu rắn (ĐTR) sử dụng trực tiếp các thời thuốc này hoạt động với thời gian dưới

2,2 s. Tuy nhiên, trong yêu cầu kỹ thuật của các vũ khí trang bị kiểu FMV-08, FMV-B... có sử dụng ĐTR, thời gian làm việc cận ổn định đều trên 4s [1]. Bên cạnh đó, yêu cầu nâng cao hệ số hoàn thiện khối lượng động cơ nhiên liệu rắn luôn là vấn đề cấp thiết [2, 6].

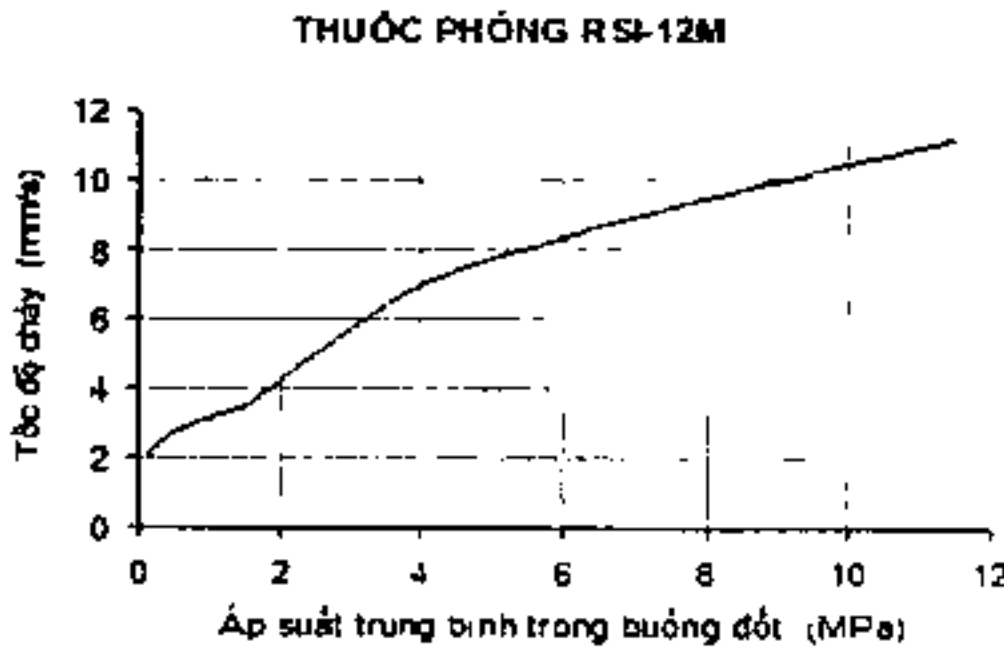
Với mục đích nhằm tăng thời gian làm việc ở chế độ cận ổn định của ĐTR, bài báo trình bày một giải pháp tính toán, thiết kế ĐTR sử dụng thời thuốc phóng chuẩn RSI-12M do Việt Nam sản xuất



2. TÍNH TOÁN THIẾT KẾ

2.1. Cơ sở tính toán thiết kế

Theo các kết quả thử nghiệm [1, 3], sử dụng phương pháp nội suy, ta nhận được biến thiên tốc độ cháy theo áp suất buồng đốt ĐTR như trên hình 1.



Hình 1. Sự phụ thuộc tốc độ cháy của thuốc phóng RSI-12M vào áp suất trung bình trong buồng đốt ĐTR.

Về lý thuyết [4], thời gian làm việc của ĐTR được tính gần đúng bằng thời gian cháy của thỏi thuốc phóng RSI-12M cháy đồng thời 4 mặt:

$$t = \frac{e}{u} \tag{1}$$

Trong đó: t - Thời gian làm việc của ĐTR, [s]; 2e - Bề dày cháy của thỏi thuốc phóng, [mm]; u - Tốc độ cháy trung bình của thỏi thuốc phóng, [mm/s].

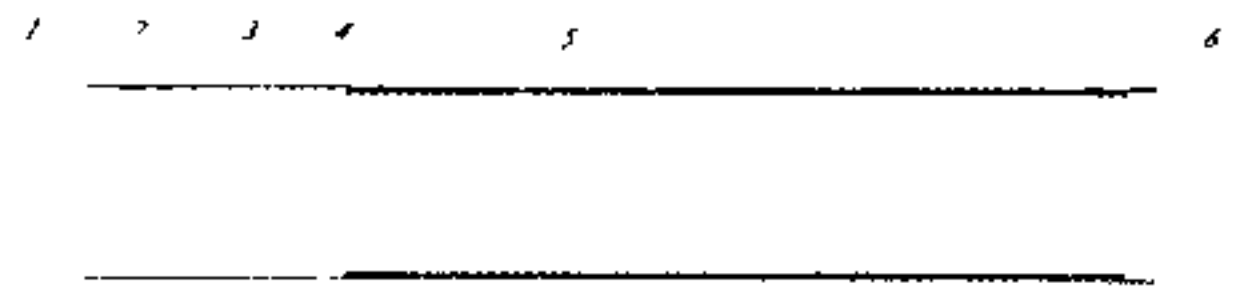
Do vậy, ở chế độ làm việc cận ổn định của ĐTR sử dụng thỏi thuốc phóng RSI-12M chuẩn, do 2e = 43 mm = const, để tăng thời gian làm việc, cần giảm tốc độ cháy u. Tuy nhiên, ĐTR làm việc ổn định, u không thể giảm dưới 7,5 mm/s.

Dưới đây, một phương án kéo dài thời gian làm việc ĐTR được đề xuất. Phương án thiết kế động cơ với hai chế độ lực đẩy hoạt động nối tiếp sử dụng liều nhiên liệu chế tạo từ

thuốc phóng RSI-12M.

2.2. Kết cấu động cơ hai chế độ lực đẩy làm việc liên tục

Sơ đồ kết cấu của động cơ được mô tả như trên Hình 1.5. Trong đó, sử dụng liều nhiên liệu từ thuốc phóng RSI-12M được bọc chống cháy nhằm tăng thời gian làm việc của động cơ.

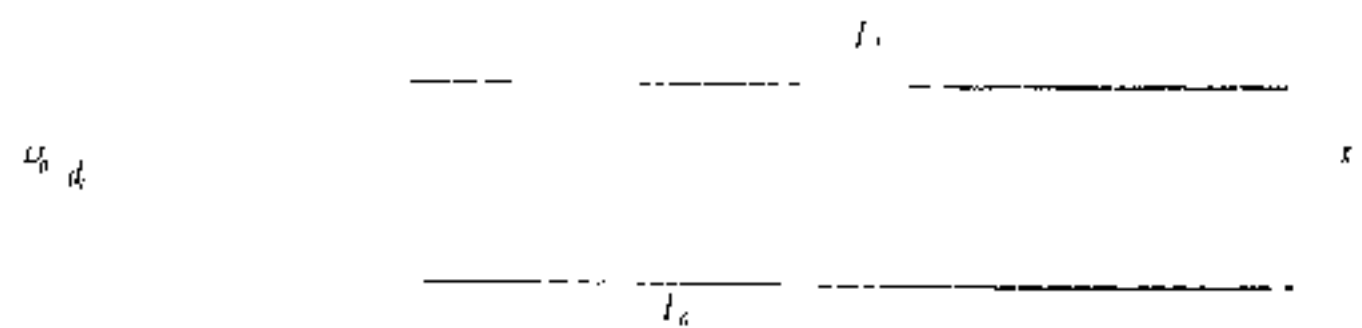


Hình 2. Sơ đồ nguyên lý kết cấu động cơ: 1) Khối loa phụt; 2) Cụm môi; 3) Lớp bảo vệ nhiệt vỏ động cơ; 4) Lớp bọc chống cháy giai đoạn; 5) Liều nhiên liệu; 6) Chóp gió

ĐTR làm việc với 02 chế độ (giai đoạn). Giai đoạn thứ nhất, liều nhiên liệu cháy 4 mặt: 2 mặt đầu, mặt ngoài và mặt trong của liều nhiên liệu. Ở giai đoạn thứ hai sẽ cháy 3 mặt (2 mặt đầu và mặt trong liều nhiên liệu) giới hạn bởi lớp chống cháy.

2.3. Tính toán thiết kế động cơ hai chế độ lực đẩy:

Kết cấu liều thuốc phóng được mô tả trên hình 3:



Hình 3 Liều thuốc phóng

Khối lượng thuốc phóng [5]:

$$\omega = \varphi_r \frac{I}{C_p \cdot \beta} \tag{2}$$

Trong đó: I - Xung lực riêng của thuốc phóng; C_p - Hệ số lực đẩy của động cơ; β - Hệ số nhiệt động; φ_T - Hệ số tổn thất do thuốc phóng cháy không hết.

Chiều dài liều phóng:

$$L_0 = \frac{4\omega}{\pi\rho(D_0^2 - d_0^2)} \quad (3)$$

Trong đó: ρ - Mật độ của thuốc phóng; D_0, d_0 - Đường kính ngoài và lỗ trong ban đầu của liều thuốc phóng.

Diện tích tiết diện tới hạn của các loa phụt:

$$F_{TH} = \frac{u \cdot S \cdot \rho \cdot \sqrt{R \cdot T \cdot \chi}}{\varphi \cdot A(k) \cdot p} \quad (4)$$

Trong đó: F_{TH} - Diện tích tiết diện tới hạn của loa phụt; p - Áp suất trung bình trong buồng đốt ĐTR; R - Hằng số khí của thuốc phóng; T - Nhiệt độ cháy đẳng áp; χ - Hệ số tổn thất nhiệt; φ - Hệ số tổn thất qua loa phụt; $A(k)$ - Hàm khí nhiệt động (k - Hằng số đoạn nhiệt; S - Diện tích bề mặt cháy của thuốc phóng), được tính theo công thức sau:

$$A(k) = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{1}{k-1}} \sqrt{\frac{2 \cdot k}{k+1}} \quad (5)$$

ĐTR có n loa phụt, đường kính tiết diện tới hạn của một loa phụt là:

$$d_{TH} = \sqrt{\frac{4 F_{TH}}{\pi n}} \quad (6)$$

Lực đẩy của ĐTR có góc giữa trục dọc loa phụt và trục dọc động cơ α :

$$P = C_p \cdot p \cdot F_{TH} \cdot \cos \alpha \quad (7)$$

Sự phụ thuộc của áp suất làm việc của động cơ $p=p(t)$ nhận được bởi hệ phương trình:

$$\begin{cases} \frac{dw}{dt} = Su \\ \frac{de}{dt} = u \\ \frac{wp}{T} \frac{dT}{dt} = SupR(\chi T_v - T) - (k-1)GRT; \\ W \frac{dp}{dt} = SupR\chi T_v - kGRT - Spu. \end{cases} \quad (8)$$

Trong đó: w - Thể tích tự do của buồng đốt, T_v - Nhiệt độ cháy đẳng tích của thuốc phóng.

Thể tích tự do của buồng đốt:

$$w = w_0 + \int_0^T S u dt \quad (9)$$

Lưu lượng sinh khí:

$$\dot{G} = \frac{p F_{th} A(k)}{\sqrt{-RT}} \quad (10)$$

Phụ thuộc của lực đẩy của ĐTR vào thời gian $P=P(t)$:

$$P(t) = C_p p(t) F_{TH} \quad (11)$$

Lực đẩy trung bình của động cơ:

$$P_{TB} = \frac{\int_0^{t_b} p(t) dt}{t_b} \quad (12)$$

Ở đây: t_{lv} - Tổng thời gian làm việc của động cơ.

Tổng xung của động cơ:

$$I_{\Sigma} = \int_0^{t_h} P(t) dt \quad (13)$$

Điểm khác biệt của kết cấu thuốc phóng như trên hình 2, ở chế độ cháy thứ nhất cháy 4 mặt của thoi thuốc, chế độ 2 cháy 3 mặt. Việc tính toán diện tích bề mặt cháy của thuốc phóng như sau:

Tổng diện tích bề mặt cháy của thuốc phóng ở giai đoạn 1 tại thời điểm t bất kỳ, ứng với đường kính lỗ trong d , đường kính ngoài D , chiều dài thoi thuốc L , bề dày cháy của thuốc phóng là x [5]:

$$S_1 = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{2} + \pi dL^* + \pi DL^{**} \quad (14)$$

Trong đó: $D = D_0 - 2x$; $d = d_0 + 2x$; $L^* = L_0 - 2x$; $L^{**} = L_0 - L_1 - 2x$. (15)

Tổng diện tích bề mặt cháy của thuốc phóng ở giai đoạn 2 tại thời điểm t bất kỳ, ứng với đường kính lỗ trong d_2 , đường kính ngoài D , chiều dài thoi thuốc L_2 , bề dày cháy của thuốc phóng là x .

$$S_2 = \frac{\pi(D^2 - d_2^2)}{2} + \pi d_2 L_2 \quad (16)$$

Trong đó:

$$L_2 = L_1 - \frac{(D-d)}{4} - 2x \quad (17)$$

$$d_2 = d_0 - \frac{(D-d)}{4} + 2x \quad (18)$$

$$D = D_0 - 2x \quad (19)$$

$$x = udt \quad (20)$$

Hệ phương trình (8) là hệ phương trình vi phân có thể giải bằng phương pháp Runge-Kutta bằng phần mềm Mathcad 15 trên máy tính điện tử.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Tiến hành khảo sát với động cơ mẫu sử dụng thoi nhiên liệu thuốc phóng keo RSI-12M. Thông số nhiệt động học ban đầu của thuốc phóng được xác định bằng phần mềm tính toán nhiệt động học ASTRA: Hệ số đoạn nhiệt $k=1,25$; nhiệt độ cháy đẳng áp $T_p=2183$ K).

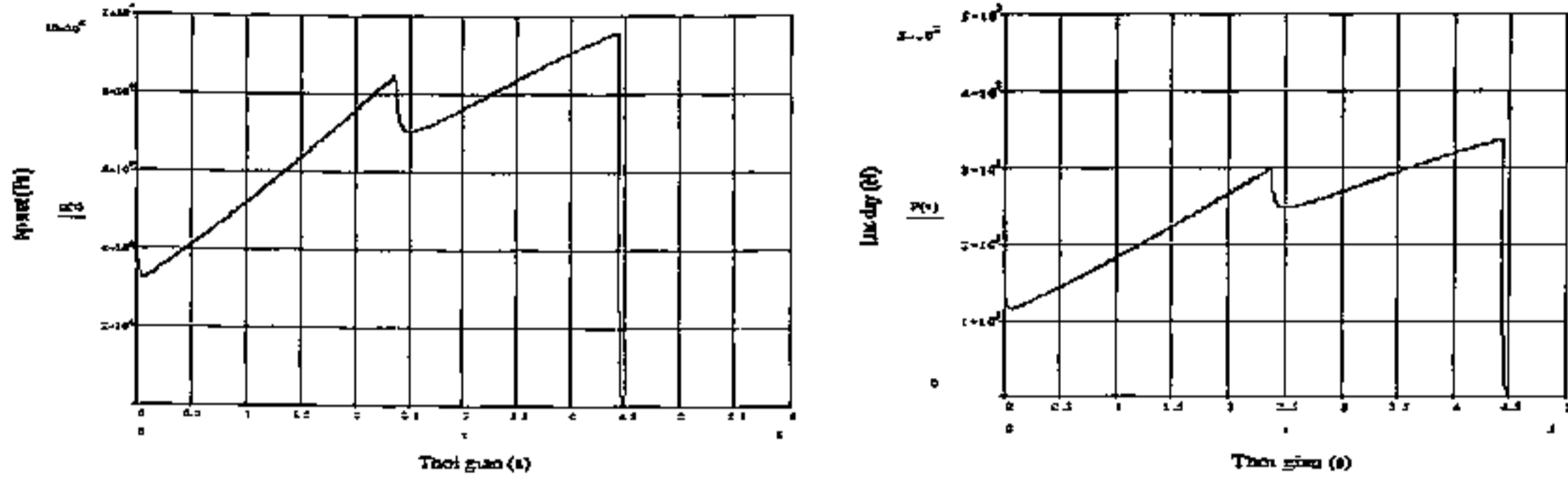
Các điều kiện đầu của hệ phương trình (7): $t=0$; $p=p_m$; $T = T_m$; $W=W_0$; $\dot{G} = \dot{G}_0$. Trong đó p_m ; T_m là áp suất và nhiệt độ môi cháy thuốc phóng.

Thông số kỹ thuật của động cơ mẫu khảo sát được trình bày trên bảng 1.

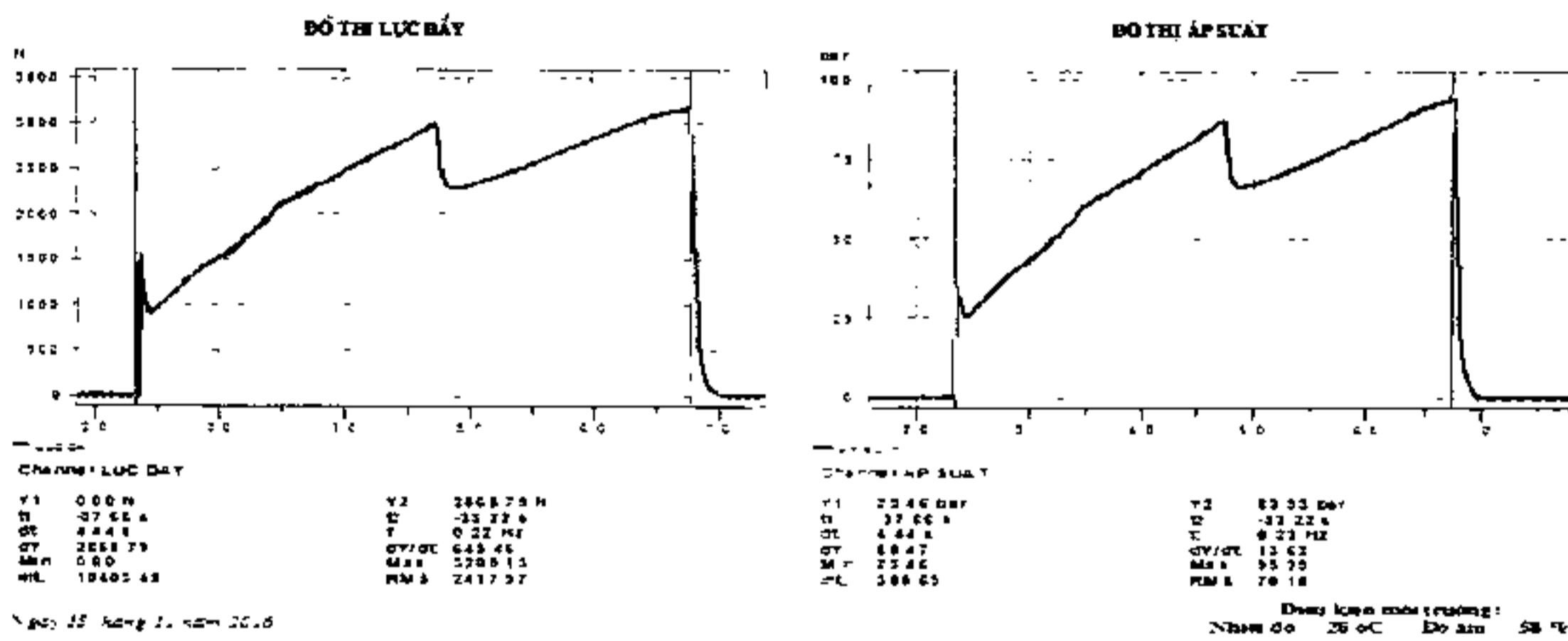
Bảng 1 Thông số kỹ thuật động cơ mẫu.

STT	Thông số, đơn vị	Giá trị
1	Khối lượng thuốc phóng, [kg]	6.08
2	Chiều dài hiệu phóng L_0 , [mm]	460
3	Chiều dài bọc chông cháy, [mm]	380
4	Chiều dài buồng đốt, [mm]	540
5	Đường kính buồng đốt, [mm]	110
6	Đường kính tiết diện loa phụt, [mm]	9,2
7	Số loa phụt, [cái]	4
8	Áp suất trung bình trong buồng đốt, [MPa]	9
9	Thời gian làm việc của động cơ, [s]	4.46
10	Xung lượng toàn phần, [N s]	10680

Đồ thị kết quả tính toán về biến thiên áp suất trong buồng đốt và lực đẩy của động cơ mẫu được trình bày trên hình 4. Đồ thị thực nghiệm đo đặc tính áp suất và lực đẩy thể hiện trên hình 5.



Hình 4. Kết quả tính toán sự phụ thuộc của áp suất, lực đẩy vào thời gian làm việc của động cơ mẫu.



Hình 5. Kết quả thực nghiệm đo áp suất và lực đẩy của động cơ mẫu

Kết quả cho thấy chênh lệch áp suất giữa số liệu đo thử nghiệm và tính toán không vượt quá 15%, lực đẩy đo thực tế và tính toán không chênh lệch quá 10%.

4. KẾT LUẬN

Sử dụng giải pháp tính toán, thiết kế và công nghệ bọc chống cháy như phương án đã nêu cho phép tăng thời gian làm việc của động cơ tên lửa nhiên liệu rắn sử dụng thối thuốc phóng RSI-12M lên hai lần so với các giải pháp truyền thống. Kết quả này là cơ sở cho phép giảm khối lượng ĐTR đến hơn 30%. ❖

Ngày nhận bài: 16/3/2017

Ngày phản biện: 17/4/2017

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Trịnh Hồng Anh (2014). *Nghiên cứu thiết kế, chế tạo vũ khí phá vật cản mở cửa cho bộ binh FMV-B*. Viện KH-CN quân sự, 2014
- [2]. Trần Ngọc Thanh, Vũ Tùng Lâm: *Về một giải pháp giảm khối lượng kết cấu của vỏ động cơ tên lửa nhiên liệu rắn*. Tạp chí Nghiên cứu KH-CN quân sự, số 9-2011, tr 147-155
- [3]. Đặng Hồng Triển: *Nghiên cứu xác định quy luật tốc độ cháy của nhiên liệu rắn tên lửa trên cơ sở đo đặc tuyến làm việc của động cơ mẫu*. Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Viện KH-CN quân sự, 2009.
- [4]. Натанзон М С (1986), "Неустойчивость горения". Москва "Машиностроение"
- [5]. Соколовский М И (2003), "Управляемые энергетические установки на твердом ракетном топливе". Москва "Машиностроение"
- [6]. Фахруллин И Х (1987). "Конструкция и проектирование ракетных двигателей твердого топлива". Москва "Машиностроение"