

## VỀ MỘT PHƯƠNG PHÁP THIẾT KẾ CẢM BIẾN ĐO LỰC ĐẨY LIÊN HOÀN ĐỘNG CƠ PHÓNG VÀ ĐỘNG CƠ HÀNH TRÌNH TÊN LỬA IGLA

### *About a desinged of force sensor to measure the continuous thrust of the launch and itinerary engines of Iгла missile*

Nguyễn Phú Đăng

Học viện Kỹ thuật Quân sự

E-mail: [npdangdtyvs@yahoo.com.vn](mailto:npdangdtyvs@yahoo.com.vn)

Phạm Quang Minh

Viện Tên lửa – Viện Khoa học và Công nghệ Quân sự

Nguyễn Duy Hùng Tuyền

Học viện Kỹ thuật Quân sự

E-mail: [nguyentuyenkh35@gmail.com](mailto:nguyentuyenkh35@gmail.com)

#### Tóm tắt:

Bài báo trình bày một phương pháp thiết kế cảm biến đo lực đẩy liên hoàn động cơ phóng và động cơ hành trình tên lửa phòng không tầm thấp Iгла dựa trên hiệu ứng áp trở và kết quả nghiên cứu thực nghiệm để minh chứng mô hình của bài toán lý thuyết.

**Từ khóa:** Cảm biến, tem biến dạng, động cơ phóng, động cơ hành trình

**Abstract:** This paper present a a desinged of force sensor to measure the continuous thrust of the launch and itinerary engines of Iгла missile using strain gauges and the results of experiment to demonstrate the theory model.

**Keywords:** Sensor, strain gauges, launch engine, itinerary engine

#### Ký hiệu

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
$t_p$	giây	thời gian làm việc của ĐCP
$t_{ht}$	giây	thời gian làm việc của ĐCHT
$t_{gc}$	giây	thời gian giữ chậm của trụ giữ chậm 9X270.
$F_{so}$	kN	đãi đo của cảm biến
$E$	GPa	mô đun đàn hồi
$G$	GPa	mô đun đàn hồi trượt
$\mu$		hằng số poisson
$x, L, r, t$	mm	các kích thước của PTĐH
$g$		hằng số tem
$k$		hệ số tỷ lệ mạch cầu
$d_{tem}$	mm	chiều dài TBD
$\varepsilon_z$	$\mu m/m$	giá trị biến dạng của tem
$S$	mV/V	độ nhạy của cảm biến
$F$	kN	lực tác động vào cảm biến
$M_x$	N.m	mô men tại các điểm trên tem do lực F gây ra
$R$	$\Omega$	điện trở tem
$\sigma$	N/cm <sup>2</sup>	ứng suất
$J_x$	mm <sup>4</sup>	mô men quán tính mặt cắt

$U_N$	V	điện áp nguồn nuôi cảm biến
$U_r$	V	điện áp ra của cảm biến
$U_{ct}$	V	điện áp chỉ thị của thiết bị DEWE-4000
$\bar{S}$	mV/V	giá trị trung bình đại số của dãy các kết quả quan trắc
$V_i$		độ lệch của kết quả mỗi lần quan trắc so với giá trị trung bình
$\sigma^*$		ước lượng độ lệch quân phương
$\sigma_x^*$		ước lượng độ lệch quân phương của giá trị trung bình đại số
$\Delta_{1,2}$		khoảng đáng tin
$\delta S$	%	sai số độ nhạy giữa các lần thí nghiệm

#### Chữ viết tắt

ĐCP	Động cơ phóng
ĐCHT	Động cơ hành trình
PTĐH	Phần tử đàn hồi
TBD	Tem biến dạng

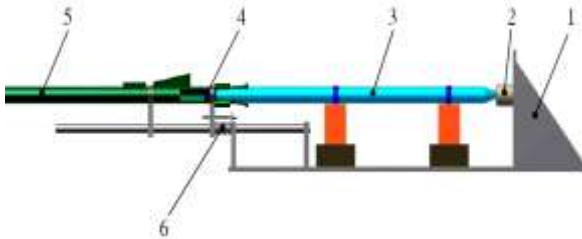
#### Phần mở đầu

Tổ hợp tên lửa phòng không tầm thấp Iгла được trang bị cho quân đội ta dùng để tiêu diệt các máy bay phản lực, máy bay trực thăng, máy bay lên thẳng theo các hướng bắn đón và bắn đuổi trong điều kiện nhìn thấy bằng mắt thường.

Hiện nay, các cơ sở nghiên cứu và sản xuất quốc phòng đã làm chủ công nghệ chế tạo được các sản phẩm thuộc hệ thống động lực tên lửa Iгла. Các động cơ phóng (ĐCP) và động cơ hành trình (ĐCHT) đã được chế tạo và thử nghiệm độc lập cho kết quả tốt. Tuy nhiên các sản phẩm này chưa qua thử nghiệm đồng bộ trên trường bắn nên chưa thể đánh giá được quá trình làm việc liên hoàn của hệ thống động lực theo các chỉ tiêu của vũ khí. Từ đó cần thiết phải nghiên cứu chế tạo giá thử liên hoàn ĐCP-ĐCHT tên lửa Iгла do Việt Nam chế tạo khi lắp ráp đồng bộ

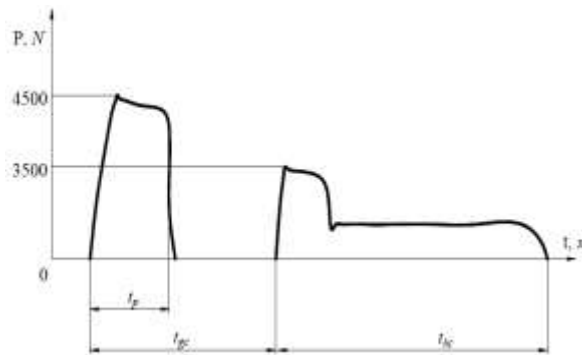
trước khi đưa vào sử dụng nhằm đánh giá chất lượng sản phẩm cũng như kiểm tra độ an toàn của vũ khí đối với xạ thủ.

Giá thử liên hoàn ĐCP-ĐCHT tên lửa Igla được nhóm tác giả nghiên cứu xây dựng như H. 1, trong đó: 1. Bệ; 2. Cảm biến đo lực; 3. ĐCHT; 4. ĐCP; 5. Ống phóng; 6. Cơ cấu tách ống phóng. Phần tử trung tâm của giá là bộ cảm biến đo lực đẩy liên hoàn ĐCP-ĐCHT.



H. 1 Cấu trúc của giá thử liên hoàn ĐCP-ĐCHT

Nguyên lý làm việc của giá thử được mô tả như sau: Hệ thống ĐCP, ĐCHT và ống phóng tên lửa Igla được lắp ráp đồng bộ và được gá lên giá thử (H. 1). Thiết bị điều khiển điểm hỏa và giữ chậm điện tử có nhiệm vụ điểm hỏa cho ĐCP và các bu lông nổ của cơ cấu đẩy lùi ống phóng. Khi điểm hỏa ĐCP được mỗi cháy tức thời, khối giữ chậm điểm hỏa bắt đầu đếm thời gian. Lúc này lực đẩy của ĐCP truyền qua ĐCHT đến cảm biến đo lực đẩy và hiển thị giá trị lực đẩy theo thời gian trên màn hình (H. 2). Sau 0,09 giây ĐCP ngừng hoạt động, theo quán tính ĐCP vẫn tiếp tục chuyển động cùng động cơ hành trình trong ống phóng, đến khoảng 0,2...0,3 giây (tính từ thời điểm điểm hỏa), ĐCP bị giữ lại trong ống phóng bởi ngàm kim loại; thiết bị giữ chậm điểm hỏa truyền tín hiệu điểm hỏa kích hoạt bu lông nổ của cơ cấu đẩy lùi ống phóng. Phần tử dự trữ năng lượng của cơ cấu đẩy lùi ống phóng được giải phóng đẩy ống phóng (có chứa ĐCP bên trong) trượt lùi về phía sau. ĐCHT được điểm hỏa và bắt đầu hoạt động sau thời gian giữ chậm khoảng 0,5 giây (của trụ giữ chậm 9X270). Lực đẩy của động cơ hành trình được đo và hiển thị trên màn hình (H. 2).



H. 2 Đồ thị lực đẩy ĐCP-ĐCHT tên lửa Igla

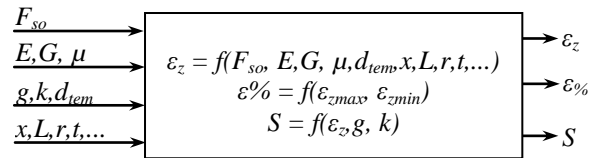
Trong báo cáo này nhóm tác giả chỉ trình bày phương pháp thiết kế cảm biến đo lực đẩy liên hoàn ĐCP và ĐCHT tên lửa Igla sao cho cảm biến có đủ độ nhạy và độ ổn định. Để đảm bảo độ dự trữ an toàn cho cảm

biến khi thử nghiệm, dải đo của cảm biến được lựa chọn  $F_{so} = 10kN$ .

## Xây dựng bài toán thiết kế cảm biến

### 2.1 Bài toán tổng quát

Để xây dựng bài toán thiết kế cảm biến cần có đầy đủ các số liệu đầu vào như sau: dải đo; tham số vật liệu chế tạo phần tử đàn hồi (PTĐH), kích thước hình học và hằng số tem biến dạng. Như vậy mô hình của bài toán thiết kế cảm biến đo được thể hiện như trên H. 3.



H. 3 Mô hình bài toán thiết kế cảm biến

Trong bài toán này các dữ liệu đầu vào là dải đo, tham số vật liệu của PTĐH và tham số TBD được lựa chọn và giữ cố định. Các tham số kích thước PTĐH được thay đổi sao cho kết quả của bài toán là giá trị của  $\epsilon_z$ ,  $S$  nằm trong các giới hạn cho phép.

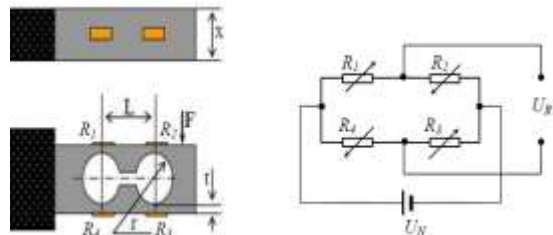
Đề cảm biến có đủ độ nhạy, làm việc tuyến tính và ổn định trong dải đo, kết quả của bài toán phải đảm bảo các điều kiện sau: Giá trị biến dạng của tem  $\epsilon_z$ :  $\epsilon_z < 1700\mu\epsilon$  [2] do vật liệu để chế tạo PTĐH chủ yếu sử dụng các thép hợp kim có giới hạn bền:  $\sigma_b = (500 - 2000) MPa$  theo [4] cảm biến sẽ làm việc ổn định và tuyến tính trong dải đo. Độ nhạy của cảm biến  $S$ :  $S = (1 - 3) mV/V$ . Giá trị biến dạng tương đối  $\epsilon\%$  trên một TBD cần được khống chế sao cho  $\epsilon\% < 15\%$  (số liệu do hãng sản xuất TBD cung cấp).

Bài toán thiết kế cảm biến đo được xây dựng theo các bước như sau: Thứ nhất, từ dải đo của cảm biến ứng và cấu trúc PTĐH dùng phương pháp lực để giải bài toán siêu tĩnh sẽ tính toán được ứng suất tại các điểm của PTĐH trên đó dán các TBD. Thứ hai, ứng dụng định luật Hook để tính giá trị biến dạng của tem. Thứ ba, tính độ nhạy của cảm biến dựa trên giá trị biến dạng của tem.

### 2.2 Xây dựng bài toán thiết kế cảm biến đo lực

#### 2.2.1 Mô hình toán học

Theo [6] cảm biến đo lực đẩy tên lửa phòng không tầm thấp ( $F_{so} \leq 10kN$ ) thường được thiết kế dựa trên PTĐH có cấu trúc dầm 2 lỗ (H. 4).



H. 4 Cấu trúc PTĐH dầm 2 lỗ

Với cấu trúc PTĐH như H. 4 khi có lực  $F$  tác động vào PTĐH ta có moment  $M_x$  tại các điểm trên tem là

[5]:

$$M_x = \frac{F}{2} \times \left( \frac{L}{2} + u \right), \quad (1)$$

trong đó:  $-\frac{d_{tem}}{2} \leq u \leq \frac{d_{tem}}{2}$  với  $d_{tem}$  là độ dài của tem biến dạng. Khi đó ứng suất của vị trí  $R_I$  được tính:

$$s_{z1} = \frac{M_x \times t_u}{J_x \times 2} \quad (2)$$

trong đó  $J_x$  là moment quán tính mặt cắt. Theo [5], ta

có:  $J_x = \frac{1}{12} x t_u^3$  với  $t_u = (r+t) - \sqrt{r^2 - u^2}$ .

Áp dụng biểu thức của định luật Hooke và theo (2) tính được biến dạng tại một điểm của tem  $R_I$ :

$$e_{z1} = \frac{s_{z1}}{E} = \frac{M_x}{J_x} \times \frac{t_u}{2} \times \frac{1}{E} = \frac{3F(0,5L+u)}{Ext_u^2}, \quad (3)$$

và giá trị biến dạng trung bình của tem  $R_I$  là:

$$\bar{\epsilon}_{z1} = \frac{\int \epsilon_{z1} du}{d_{tem}} = \frac{\int_{-\frac{d_{tem}}{2}}^{\frac{d_{tem}}{2}} \frac{3F(0,5L+u)}{Ext_u^2} du}{d_{tem}} \quad (4)$$

Tương tự ta có:

$$\bar{\epsilon}_{z2} = \frac{\int \epsilon_{z2} du}{d_{tem}} = -\frac{\int_{-\frac{d_{tem}}{2}}^{\frac{d_{tem}}{2}} \frac{3F(0,5L+u)}{Ext_u^2} du}{d_{tem}} \quad (5)$$

$$\bar{\epsilon}_{z3} = \frac{\int \epsilon_{z3} du}{d_{tem}} = \frac{\int_{-\frac{d_{tem}}{2}}^{\frac{d_{tem}}{2}} \frac{3F(0,5L+u)}{Ext_u^2} du}{d_{tem}} \quad (6)$$

$$\bar{\epsilon}_{z4} = \frac{\int \epsilon_{z4} du}{d_{tem}} = -\frac{\int_{-\frac{d_{tem}}{2}}^{\frac{d_{tem}}{2}} \frac{3F(0,5L+u)}{Ext_u^2} du}{d_{tem}} \quad (7)$$

Từ (4) đến (7) tính được giá trị biến dạng tương đối của các tem:

$$\epsilon\% = \frac{\epsilon_{zmax} - \epsilon_{zmin}}{\epsilon_{zmax}} = \frac{\frac{3F(0,5L+0)}{Ext_0^2} - \frac{3F(0,5L-\frac{d_{tem}}{2})}{Ext_{\frac{d_{tem}}{2}}^2}}{\frac{3F(0,5L+0)}{Ext_0^2}} \quad (8)$$

Với cảm biến dùng mạch cầu Wheatstone được cấu tạo từ 4 TBD thì độ nhạy của cảm biến theo [3], [10] là:

$$S = \frac{U_R}{U_N} = \frac{k}{(1+k)^2} (e_{z1} + e_{z3} - e_{z2} - e_{z4})g \quad (9)$$

Trong đó:  $g$  - hằng số tem;  $k$  - hệ số tỉ lệ mạch cầu, với mạch cầu cân bằng sử dụng 4 TBD thì  $k = 1$ .

Thay (4), (5), (6), (7) vào (9) ta xây dựng được biểu thức tính độ nhạy của cảm biến có PTĐH đậm hai lỗ:

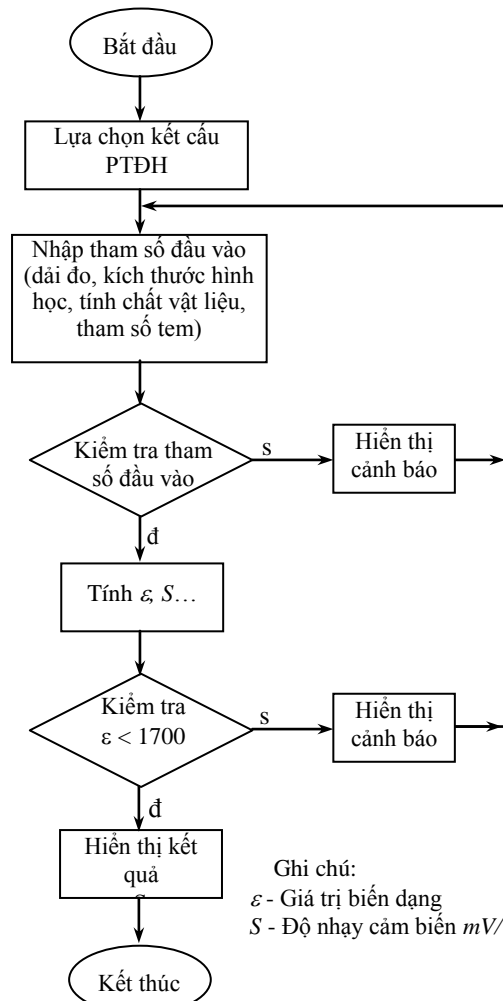
$$S = \frac{U_R}{U_N} = g \frac{\int_{-\frac{d_{tem}}{2}}^{\frac{d_{tem}}{2}} \frac{3F(0,5L+u) du}{Ext_u^2}}{d_{tem}} [mV/V] \quad (10)$$

với  $t_u = (r+t) - \sqrt{r^2 - u^2}$ .

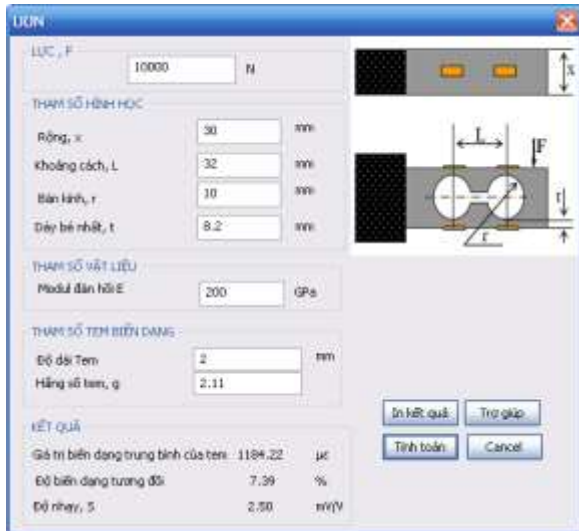
### 2.2.2 Tính độ nhạy cảm biến

Từ phương trình (10) nhận thấy: độ nhạy của cảm biến có chứa các tham số là nghiệm của hệ phương trình và phép tính tích phân phức tạp. Nếu tính toán bằng phương pháp giải tích thông thường sẽ dễ nhầm lẫn hay gặp phải sai số lớn khi thực hiện phép tính tích phân.

Vì thế từ phương trình (10) nhóm tác giả đã xây dựng chương trình tính độ nhạy cảm biến, chương trình được viết trên ngôn ngữ visual C++ và có lưu đồ thuật toán như trên hình 5 và kết quả tính được thể hiện trên giao diện như hình 6.



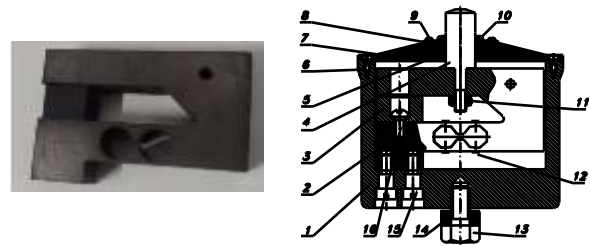
H. 5 Lưu đồ thuật toán chương trình tính độ nhạy cảm biến



H. 6 Kết quả tính độ nhạy cảm biến

Khi các kích thước  $x = 30\text{mm}$ ;  $L = 32\text{ mm}$ ;  $r = 10\text{ mm}$ ;  $t = 8,2\text{ mm}$ , sử dụng thép hợp kim có  $E = 200\text{GPa}$ , tem biến dạng KFG.2.120.C11 của hãng KYOWA có độ dài  $2\text{mm}$  và hằng số tem  $g = 2.11$  ta sẽ nhận được kết quả theo tính toán lý thuyết như sau:  
 Giá trị biến dạng trung bình của tem:  $\overline{\varepsilon}_z = 1184,22$ .  
 Giá trị biến dạng tương đối:  $\varepsilon\% = 7,39\%$ . Độ nhạy của cảm biến:  $S = 2,50\text{ mV/V}$ . Như vậy độ nhạy của cảm biến theo tính toán lý thuyết là  $2,50\text{ mV/V}$  và các giá trị biến dạng trung bình, biến dạng tương đối của tem đều nằm trong các giới hạn cho phép.  
 Từ đó cảm biến đo lực đẩy liên hoàn ĐCP-ĐCHT tên lửa Iгла với cấu trúc PTĐH dầm 2 lỗ có kích thước như trên và vật liệu lựa chọn là thép 40X13, nhiệt

luyện đạt độ cứng  $50\text{ HRC}$  được thiết kế như trên hình 7.



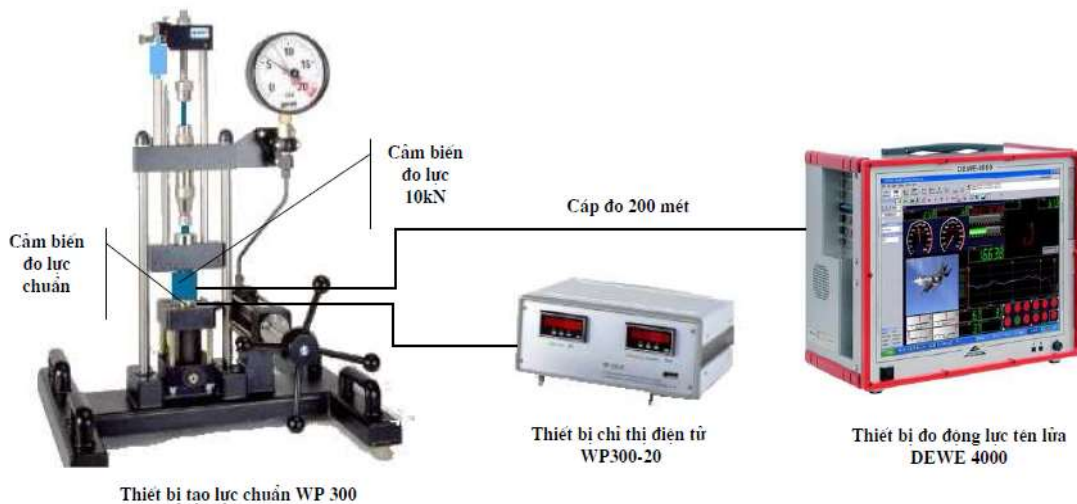
H. 7 Cảm biến đo lực đẩy liên hoàn ĐCP-ĐCHT  
 Trong đó: 1 – Thân; 2 – PTĐH; 3 – Trụ bảo hiểm; 4 – Trụ dẫn; 5 – Vòng chắn; 6 – Vít nắp; 7 – Nắp; 8 – Nắp che; 10 – Đệm che bụi; 11 – Đai ốc; 15 – Vít giữ; 16 – Vít

### Nghiên cứu thực nghiệm xác định độ nhạy cảm biến

Thí nghiệm xác định độ nhạy của cảm biến theo phương pháp sau: Cảm biến được kết nối với thiết bị đo động lực tên lửa DEWE-4000 của hãng Dewetron-Áo. Đặt điện áp nguồn cho cảm biến bằng  $\pm 5$  vôn, hệ số khuếch đại của module DAQ-BRIDGE là 200. Sử dụng thiết bị tạo lực chuẩn WP-300 để tạo các kích thích chuẩn cho cảm biến.  
 Tiến hành các lần đo và quan sát điện áp chỉ thị  $U_{ct}$  của của thiết bị DEWE-4000. Độ nhạy của cảm biến là:

$$S = \frac{U_R [mV]}{200.U_N [V]} \quad (11)$$

Trong (11) xuất hiện giá trị 200 ở mẫu số vì module DAQ-BRIDGE đã khuếch đại  $U_R$  của cảm biến lên 200 lần.



H. 8 Sơ đồ thí nghiệm xác định độ nhạy cảm biến đo lực

#### B.1 Kết quả thí nghiệm đánh giá độ nhạy cảm biến

Số lần đo (n)	1	2	3	4	5	6	7
$U_{ct} [V]$	5,009	5,012	5,026	5,045	5,032	5,075	5,091
$S [mV/V]$	2,5045	2,506	2,513	2,5225	2,516	2,5375	2,5455

Đánh giá sai số của kết quả thí nghiệm theo [9] ta nhận được:

**B.2 Đánh giá sai số kết quả thí nghiệm cảm biến DL10kN**

$\bar{S} [mV/V]$	$\sum_i^3 V_i^2$	$\sigma^*$	$\sigma_x^*$	$\Delta_{1,2}$	$S[mV/V]$
2,521	0,0015	0,0156	0,006	0,028	2,521 ± 0,028

Từ B.2 cho thấy sai số độ nhạy  $S$  của các lần thí nghiệm cho cảm biến không lớn:

$$\delta S = \frac{0,028}{2,521} = 1,11\% \quad (12)$$

**Kết luận**

So sánh kết quả theo tính toán lý thuyết và thực nghiệm ta nhận thấy: Độ nhạy của cảm biến theo tính toán lý thuyết và thực nghiệm xác định được có giá trị xấp xỉ nhau. Giá trị của  $S$  xác định được trong thực nghiệm luôn nhỏ hơn theo tính toán lý thuyết. Điều đó cho thấy các kết quả tính toán lý thuyết là đúng đắn tuy nhiên trong thực nghiệm ta không thể dán chính xác tuyệt đối các TBD tại các vị trí trên PTĐH như chỉ ra trong tính toán lý thuyết. Kết quả thực nghiệm sẽ tiếp cận đến giá trị tính toán lý thuyết khi vị trí dán tem gần trùng với vị trí theo tính toán lý thuyết.

Các kết quả nghiên cứu thực nghiệm về độ nhạy cảm biến đo phù hợp với kết quả của tính toán lý thuyết từ điều đó cho thấy mô hình bài toán lý thuyết được xây dựng là đúng đắn và sẽ được sử dụng để thiết kế các cảm biến có đủ độ nhạy phù hợp với dải làm việc của các động cơ tên lửa cỡ nhỏ

**Tài liệu tham khảo**

- [1] Phạm Thế Phiệt, *Lý thuyết động cơ tên lửa*, NXB Học viện KTQS, 1995.
- [2] Đào Mộng Lâm, *Báo cáo tổng hợp đề tài cấp NV*: “Nghiên cứu thiết kế, chế tạo các cảm biến đo và hệ thống đo các thông số động lực học của thiết bị bay”, Viện KH&CNQS, 2011.
- [3] Nguyễn Hải, *Phân tích ứng suất bằng thực nghiệm*, NXB KHKT, 2005.
- [4] Nataiguor Premchand Mahalik, “*Mechatronics*”, McGraw Hill, Boston, pp.322-343, 2004.
- [5] Arnold, John Wiley Sons, *Strength of Materials and Structures*, New York, 1999
- [6] Mary Fran Desrochers, Gary W. Olsen, and M. K. Hudson, *A Ground Test Rocket Thrust Measurement System*, Journal of Pyrotechnics, Issue 14, 2001.
- [7] John S. Wilson, *Sensor Technology Handbook*, Elsevier Inc NewYork, 2005.
- [8] Ernest O. Doebelin, *Measurement Systems Application and Design*, McGraw-Hill, 2004.
- [9] Светозаров В.В, *Основы статистической обработки результатов измерений*, МИФИ, Москва, 1983.
- [10] Ian Sinclair, *Sensors and Transducers*, Oxford, 2001.



**Phạm Quang Minh** sinh năm 1976. Anh nhận bằng Tiến sỹ về *Đo lường* của Viện Khoa học và Công nghệ quân sự năm 2013. Từ năm 2001 đến 2007 anh là cán bộ nghiên cứu của Phòng thí nghiệm Khí động – Động lực, Viện Tên lửa.

Hiện anh là trưởng phòng thí nghiệm Đo lường động học bay - Viện Tên lửa, với vai trò là một cán bộ nghiên cứu Anh đang tiếp tục nghiên cứu phát triển các cảm biến và hệ thống đo lường động học vũ khí.



**Nguyễn Phú Đăng** sinh năm 1978. Anh nhận bằng Kỹ sư chuyên ngành Tên Lửa Phòng Không tại trường Học viện Kỹ thuật Quân sự (MTA) năm 2002. Từ năm 2002 đến 2007 anh là giảng viên của Bộ môn Điện tử Y Sinh- Khoa Kỹ thuật

Điều khiển, MTA. Anh nhận bằng Tiến sỹ chuyên ngành *Phân tích hệ thống – Điều khiển và Xử lý thông tin* tại trường Đại học Bách khoa Tomsk, Liên bang Nga năm 2011. Hiện anh đang giảng dạy và nghiên cứu tại Khoa Kỹ thuật Điều khiển, MTA. Hướng nghiên cứu chính là phát triển các hệ thống đo lường, điều khiển và giám sát tín hiệu sinh học, các thuật toán và chương trình xử lý, nhận dạng ảnh y tế, các phương pháp và thuật toán phân tích và tổng hợp, điều khiển tối ưu các hệ thống điều khiển tự động các đối tượng có tham số phân bố.



**Nguyễn Duy Hùng Tuyển** sinh năm 1981. Anh nhận bằng Kỹ sư Điện-Điện tử, chuyên ngành Tên lửa phòng không tại Học viện KTQS (MTA) năm 2005. Hiện anh đang tham gia chương trình đào tạo thạc sỹ tại Học viện KTQS niên khóa 2014-2015.