

## PHÂN TÍCH ẢNH HƯỞNG CỦA MỘT SỐ YẾU TỐ ĐẾN ĐÁP ỨNG ĐỘNG HỌC CỦA ỐNG COMPOSITE TRÊN LIÊN KẾT ĐÀN HỒI CHỊU TÁC DỤNG CỦA TẢI TRỌNG DI ĐỘNG

Nguyễn Việt Hà<sup>1\*</sup>, Phạm Tiến Đạt<sup>1</sup>, Lê Trường Sơn<sup>1</sup>, Nguyễn Trường Thanh<sup>2</sup>

**Tóm tắt:** Bài báo phân tích khảo sát một số yếu tố về vật liệu (số lớp, góc đặt cốt của ống composite) và đặc trưng nền ảnh hưởng đến đáp ứng động học của ống composite(CPS) lớp đặt trên liên kết đàn hồi chịu tác dụng tải trọng di động bên trong. Sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn với phần tử vỏ suy biến (degenerated shell element) 8 nút và lý thuyết thuần nhất hóa đối với composite lớp để xây dựng phương trình dao động của ống CPS trên liên kết đàn hồi chịu tác dụng tải trọng di động.

**Từ khóa:** Ống composite; Tải trọng di động; Liên kết đàn hồi; Phần tử vỏ suy biến.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Kết cấu vỏ composite lớp nói chung và ống composite nói riêng được sử dụng ngày càng nhiều trong các lĩnh vực như công nghiệp hàng không, công nghiệp tàu thủy, cơ khí, xây dựng, ... Việc nghiên cứu về độ bền của các kết cấu dạng bình, ống dẫn chịu tác dụng của tải trọng di động thu hút sự quan tâm nghiên cứu của một số nhà khoa học. Faria [1], [2] đã phân tích dao động của các kết cấu chịu tải trọng di động, phân tích dao động của một panel trụ chịu tải trọng di động bằng cách sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn; Tang [3] đã trình bày một mô hình dự báo đáp ứng của một ống trụ mỏng bán hữu hạn dưới áp lực di chuyển bên trong; Saranjam B, Bakhshandeh, K., Kadivar, M.H [4] đã phân tích đáp ứng động học của ống trụ thép dưới tác dụng áp lực di động, phân tích ảnh hưởng của tỉ số chiều dài và đường kính ống trụ tới đáp ứng của ống trụ; Kambiz Bakhshandeh, Bahador Saranjam [5] cũng đã phân tích ảnh hưởng của tỉ số chiều dày và đường kính ống trụ tới đáp ứng động của áp lực di động. Theo đó, kết quả nghiên cứu [4,5] cho thấy khi thay đổi tỉ số chiều dài với đường kính, tỉ số chiều dày với đường kính ống trụ thì chuyển vị của ống trụ cũng thay đổi tương ứng...

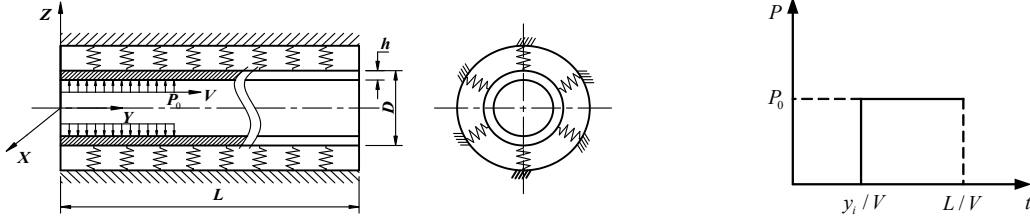
Tuy nhiên, các nghiên cứu về phản ứng động học của các dạng kết cấu nêu trên chưa nhiều, đặc biệt, các nghiên cứu mới chỉ đề cập đến các kết cấu dạng ống chịu tải trọng di động với vật liệu đồng chất đẳng hướng; Việc nghiên cứu về động học ống trụ làm bằng vật liệu composite chịu tác dụng tải trọng di động bên trong đặt trên liên kết đàn hồi còn ít được quan tâm nghiên cứu. Nội dung bài báo tập trung trình bày kết quả tính toán phản ứng động học của ống composite đặt trong nền đàn hồi chịu tải trọng di động bên trong, khảo sát đánh giá ảnh hưởng của một số yếu tố về vật liệu (số lớp, góc đặt cốt) và đặc trưng nền đến phản ứng động của ống composite lớp.

Trong bài báo tác giả sử dụng phần tử vỏ đẳng tham số ba chiều suy biến (3D degenerated shell element) để mô hình hoá kết cấu ống composite lớp. Phần tử vỏ suy biến lần đầu tiên được đề xuất bởi Ahmad [6], loại phần tử này được tạo ra bằng cách đưa phần tử khối 3D về phần tử vỏ 2D bằng cách loại bỏ các nút trung gian theo phương chiều dày. Phần tử vỏ suy biến 3D đã được Chung-Li Liao và chu-Ren Chen [7] sử dụng để khảo sát bài toán ổn định động của vỏ composite lớp. Patel, Datta và Sheikh [8] đã sử dụng phần tử vỏ suy biến đẳng tham số 8 nút để mô hình mảnh vỏ trong phân tích ổn định và mất ổn định của mảnh vỏ. Tác giả Eugerino Onate [9] sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn với phần tử vỏ suy biến 8 nút để phân tích các cấu trúc vỏ mỏng và vỏ composite lớp. Các tác giả Trịnh Anh Tuấn, Trần Hữu Quốc và Trần Minh Tú [10] sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn với phần tử vỏ suy biến 8 nút để phân tích tĩnh và dao động riêng của panel trụ composite lớp có gân gia cường.

## 2. MÔ HÌNH TÍNH TOÁN

### 2.1. Mô hình bài toán và phương trình cơ bản

Xét kết cấu ống composite nhiều lớp (hình 1) có chiều dài  $L$ , đường kính  $D$ , bề dày ống  $h$ . Ống được đặt trong nền đàn hồi chịu tác động của tải trọng dạng áp lực di động bên trong. Để mô tả nền đàn hồi, bài báo sử dụng mô hình nền đàn hồi một hệ số (mô hình nền Winkler). Khi đó, nền đàn hồi được mô hình hóa bằng các liên kết lò xo đặt tại các nút khi chia phần tử.



**Hình 1.** Ống CPS dưới tác dụng của áp lực di động. **Hình 2.** Phân bố áp lực [4,5].

Áp lực cho mỗi điểm của ống được xác định theo công thức sau [4,5]:

$$P(y,t) = P_0 u(t - y/V) \quad (1)$$

Trong đó:  $P_0$ : Biên độ áp lực;  $u(t - y/V)$ : Hàm bước đơn vị;  $V$ : Tốc độ di động áp lực.

Khi đó, phân bố áp lực tại một điểm trong thành ống được biểu diễn theo đồ thị trên hình 2.

### 2.2. Phương trình cơ bản

Phương trình chuyển động tổng quát của ống composite chịu tác dụng của tải trọng di động được thiết lập theo phương pháp PTHH có dạng:

$$[M]\{\ddot{a}\} + [C]\{\dot{a}\} + [K]\{a\} = \{P(t)\} \quad (2)$$

Trong đó:  $\{a\}$ ,  $\{\dot{a}\}$ ,  $\{\ddot{a}\}$  - Lần lượt là véc tơ chuyển vị nút, véc tơ vận tốc nút và véc tơ gia tốc nút của ống;  $[M]$ - Ma trận khối lượng của ống;  $[K]$ - Ma trận độ cứng tuyến tính của ống;  $[C]$ - Ma trận cản nhớt của ống;  $\{P(t)\}$ - Véc tơ lực quy nút của ống.

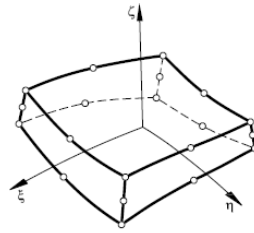
## 3. MÔ HÌNH PHẦN TỬ VÀ CÁC QUAN HỆ ỨNG SUẤT, BIẾN DẠNG, CHUYỂN VỊ

### 3.1. Mô hình phần tử

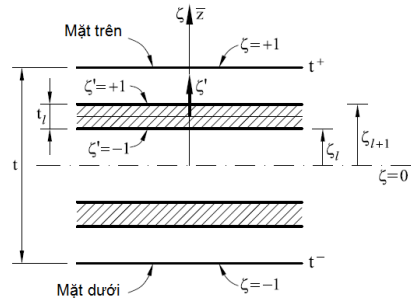
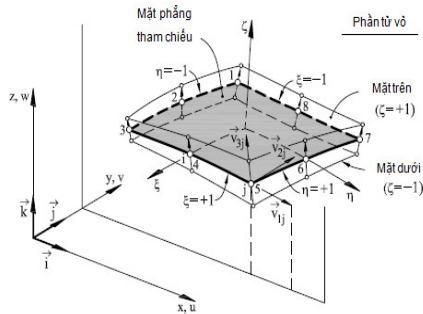
Xét phần tử vỏ suy biến 8 nút từ phần tử vỏ 3D như hình 3. Hệ trục tọa độ tổng thể là  $x, y, z$ , hệ trục tọa độ phần tử là  $x', y', z'$ . Hệ trục tọa độ tự nhiên phần tử  $(\xi, \eta)$  trong mặt trung bình và  $\zeta$  là trục hướng dọc theo phương chiều dày và vuông góc với mặt trung bình.

Các hàm dạng của phần tử đẳng tham số 8 nút trong hệ trục  $(\xi, \eta)$  có dạng sau:

$$\begin{aligned} N_1 &= -\frac{1}{4}(1-\xi)(1-\eta)(1+\xi+\eta) & N_5 &= \frac{1}{2}(1-\xi^2)(1-\eta) \\ N_2 &= -\frac{1}{4}(1+\xi)(1-\eta)(1-\xi+\eta) & N_6 &= \frac{1}{2}(1+\xi)(1-\eta^2) \\ N_3 &= -\frac{1}{4}(1+\xi)(1+\eta)(1-\xi-\eta) & N_7 &= \frac{1}{2}(1-\xi^2)(1+\eta) \\ N_4 &= -\frac{1}{4}(1-\xi)(1+\eta)(1+\xi-\eta) & N_8 &= \frac{1}{2}(1-\xi)(1-\eta^2) \end{aligned} \quad (3)$$



Phần tử khối 3D



**Hình 3.** Chuyển đổi phần tử khối 20 nút thành phần tử vỏ suy biến 8 nút. Hệ tọa độ cong, hệ tọa độ nút và hệ tọa độ tổng thể.

**Hình 4.** Trục tọa độ cho tích phân lớp.

### 3.2. Chuyển vị của phần tử

Véc tơ chuyển vị tại điểm bất kỳ thuộc phần tử vỏ có thể được biểu diễn qua ba thành phần chuyển vị  $(u_i, v_i, w_i)$  và hai thành phần góc xoay  $(\theta_i, \theta_{2i})$  tại các nút ở mặt trung bình như sau [9]:

$$u = \begin{Bmatrix} u \\ v \\ w \end{Bmatrix} = \sum_{i=1}^8 N_i u_i = \sum_{i=1}^8 N_i a_i^{(e)} \quad (4)$$

### 3.3. Biến dạng của phần tử

Các thành phần biến dạng đối với hệ trục tọa độ tổng thể được biểu diễn qua chuyển vị như sau [9]:  $\varepsilon = \sum_{i=1}^8 B_i a_i^{(e)} = B a^{(e)}$  (5)

### 3.4. Quan hệ ứng suất và biến dạng của phần tử

Biểu thức quan hệ ứng suất và biến dạng tại mỗi điểm của mỗi lớp vật liệu được viết trong hệ trục thẳng 1,2,3 của hệ trục tọa độ địa phương [9]:

$$\sigma_I = D_I \varepsilon_I \quad (6)$$

Ma trận  $D_I$  được xác định rõ trong [9].

### 3.5. Các phương trình phần tử

Phần tử vỏ của ống được mô hình bằng phần tử vỏ suy biến tứ giác 8 nút, mỗi nút 5 bậc tự do.

Ma trận độ cứng phần tử được biểu diễn như sau:

$$[K_e] = \int_{V_e} [B]^T [Q]^T [D'] [B] dx dy dz = \int_{V_e} [B]^T [Q]^T [D'] [B] [J] d\xi d\eta d\zeta \quad (7)$$

Tích phân phương trình (9) được chia nhỏ ra tính qua mỗi lớp bằng cách thay biến  $\zeta$  bằng  $\zeta_l$ , trong mỗi lớp thứ l,  $\zeta_l$  chạy từ -1 ÷ +1. Việc đổi biến  $\zeta$  thành  $\zeta_l$  theo phương trình quan hệ sau:

$$\zeta = -1 + \frac{1}{t} \left[ -t_l(1 - \zeta_l) + 2 \sum_{j=1}^l t_j \right] \text{ và } d\zeta = \left( \frac{t_l}{t} \right) d\zeta_l \quad (8)$$

Từ (9) ta có được ma trận độ cứng phần tử như sau:

$$[K_e] = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \sum_{l=1}^m \int_{-1}^1 [B]^T [Q]^T [D']_l [B] |J| \frac{t_l}{t} d\zeta_l d\xi d\eta \quad (9)$$

Ma trận khối lượng phần tử có dạng:

$$[M_e] = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \sum_{l=1}^m \int_{-1}^1 \rho' [\bar{N}]^T [\bar{N}] \times |J| \frac{t_l}{t} d\zeta_l d\xi d\eta \quad (10)$$

Xây dựng phần tử của nền đàn hồi:

Để mô tả nền đàn hồi, bài báo sử dụng mô hình nền đàn hồi một hệ số (mô hình nền Winkler). Mô hình nền được biểu diễn bằng các liên kết lò xo. Các ma trận độ cứng và khối lượng của phần tử lò xo được xác định như trong [11], [12].

$$\text{Véc tơ tải trọng nút phần tử: } \{P^e\} = \int_S [N]^T \Delta p dS \quad (11)$$

Tiến hành ghép nối tổng thể ta nhận được ma trận độ cứng tổng thể  $[K]$ , ma trận khối lượng tổng thể  $[M]$  và ma trận lực tổng thể  $\{P(t)\}$  của ống composite lớp.

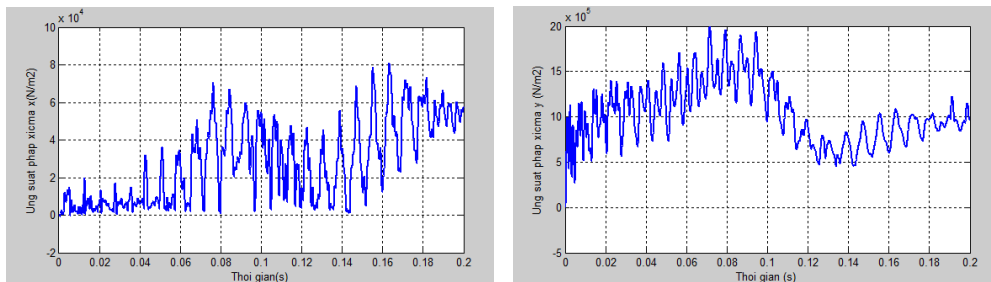
$$\text{Ma trận cản Rayleigh, được xác định [13]: } [C] = \alpha[M] + \beta[K] \quad (12)$$

$$\text{Từ đó, ta có được phương trình chuyển động tổng quát của ống composite như sau: } [M]\{\ddot{a}\} + [C]\{\dot{a}\} + [K]\{a\} = \{P(t)\} \quad (13)$$

## 4. KẾT QUẢ SỐ

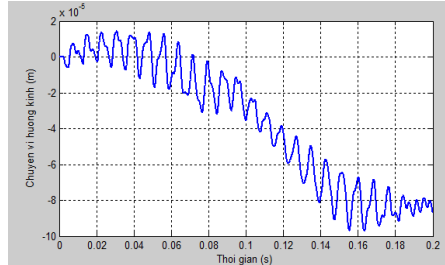
### 4.1. Bài toán xuất phát

Ống trụ composite lớp, chiều dài  $L = 2$  m, bán kính trong  $r = 0,1$  m, có 4 lớp, chiều dày ống  $t = 0.004$  m, mỗi lớp là vật liệu composite đồng phương, chiều dày các lớp như nhau. Ống đặt trong nền đàn hồi với hệ số  $K_t = 10^6$  N/m<sup>3</sup>, phía trong ống chịu tác dụng của áp suất  $p = 2500$  N/m<sup>2</sup> di chuyển dọc theo chiều dài ống với vận tốc  $V = 15$  m/s. Thông số cơ tính mỗi lớp vật liệu: Mô đun đàn hồi  $E_1 = 145.10^9$  N/m<sup>2</sup>,  $E_2 = 9,77.10^9$  N/m<sup>2</sup>,  $E_3 = 9,77.10^9$  N/m<sup>2</sup>, mô đun đàn hồi trượt  $G_{12} = 4.10^9$  N/m<sup>2</sup>,  $G_{23} = 3,5.10^9$  N/m<sup>2</sup>,  $G_{31} = 4.10^9$  N/m<sup>2</sup>, hệ số poisson  $\nu_{12} = 0.25$ ,  $\nu_{23} = 0.02$ ,  $\nu_{31} = 0.25$ . Góc đặt cốt:  $0^0/45^0/0^0/45^0$ .



**Hình 5, 6.** Ứng suất pháp  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  tại điểm thuộc mặt cắt giữa ống theo thời gian.

Sử dụng phần mềm Matlab ta được ứng suất pháp theo phương ngang  $\sigma_x$  và theo phương dọc trục  $\sigma_y$  tại điểm thuộc mặt cắt giữa ống theo thời gian (hình 5, 6) và đáp ứng chuyển vị hướng kính W tại điểm giữa ống theo thời gian (hình 7).



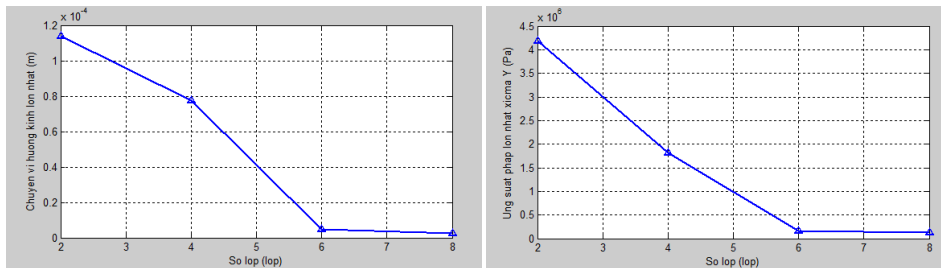
Hình 7. Chuyển vị hướng kính tại điểm giữa ống theo thời gian.

Phân tích đồ thị ta thấy: Khi tải trọng còn ở xa, điểm tính có dao động nhưng biên độ dao động nhỏ. Tải trọng càng tiến lại gần, dao động của điểm tính càng tăng và chuyển vị đạt lớn nhất  $w = 9.75.10^{-5}$  (m) tại thời điểm  $t = 0,16$  (s). Ứng suất pháp theo phương tải di chuyển (phương y) lớn hơn ứng suất pháp theo phương ngang (phương x). Giá trị lớn nhất của ứng suất pháp ( $N/m^2$ ):  $\sigma_y = 1.99.10^6$   $\sigma_x = 80736$

#### 4.2. Khảo sát ảnh hưởng của một số thông số đến đáp ứng động của hệ

##### 4.2.1. Ảnh hưởng của số lớp ống composite

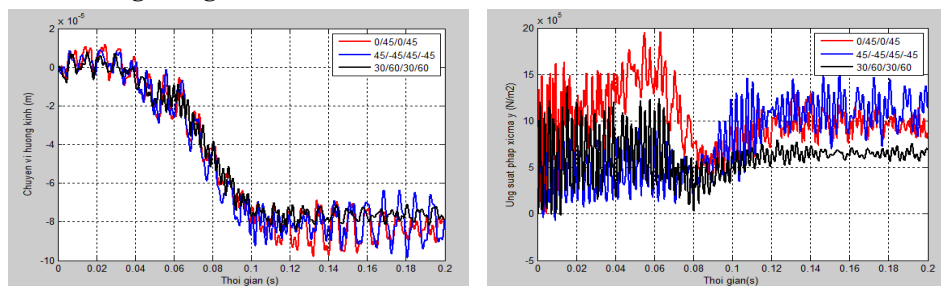
Khảo sát ống composite với số lớp thay đổi từ 2 lớp đến 8 lớp, tương ứng với chiều dày ống thay đổi từ 0.002m đến 0.008m, ở đây xét chiều dày mỗi lớp là 0.001m. Góc đặt cốt  $[0/45]_8$ . Kết quả ta được quan hệ giữa số lớp ống composite với chuyển vị hướng kính lớn nhất và ứng suất pháp lớn nhất tại điểm giữa của ống.



Hình 8, 9. Quan hệ chuyển vị hướng kính lớn nhất, ứng suất pháp lớn nhất với số lớp.

Qua kết quả khảo sát, ta thấy rằng: khi tăng số lớp từ 2 lớp đến 6 lớp thì chuyển vị hướng kính lớn nhất và ứng suất pháp lớn nhất giảm nhanh, khi tăng số lớp lên 7, 8 lớp thì giá trị của chuyển vị hướng kính và ứng suất pháp giảm chậm lại.

##### 4.2.2. Ảnh hưởng của góc đặt cốt



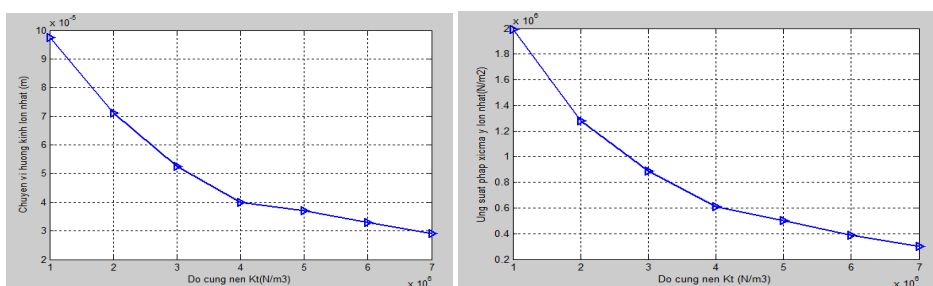
Hình 10, 11. Quan hệ chuyển vị hướng kính, ứng suất pháp  $\sigma_y$  và góc đặt cốt.

Xét ống composite 4 lớp có số liệu về cơ tính các lớp như ví dụ trên. Ta thay đổi góc đặt cốt theo 3 phương án: Phương án 1:  $0^{\circ}/45^{\circ}/0^{\circ}/45^{\circ}$ ; Phương án 2:  $45^{\circ}/-45^{\circ}/45^{\circ}/-45^{\circ}$ ; Phương án 3 :  $30^{\circ}/60^{\circ}/30^{\circ}/60^{\circ}$ . Kết quả đáp ứng chuyển vị, ứng suất điểm giữa ống thể hiện trên hình 10, 11.

Nhận xét : Góc đặt cốt có ảnh hưởng đến chuyển vị và ứng suất của ống composite. Với phương án 3 thì chuyển vị và ứng suất có giá trị biên độ dao động nhỏ hơn so với 2 phương án 1 và 2.

#### 4.2.3. Ảnh hưởng của độ cứng nền

Khảo sát ảnh hưởng của độ cứng nền đàn hồi đến chuyển vị và ứng suất trong ống composite. Cho độ cứng  $K_t$  của nền biến thiên từ  $1.10^6 \text{ N/m}^3$  đến  $7.10^6 \text{ N/m}^3$ . Kết quả sự thay đổi giá trị chuyển vị và ứng suất lớn nhất tại điểm giữa ống theo thời gian được thể hiện như trên các đồ thị hình 12, 13.



**Hình 12, 13.** Quan hệ chuyển vị hướng kính lớn nhất, ứng suất pháp lớn nhất  $\sigma_{y \max}$  và hệ số nền.

Nhận xét : Phân tích đồ thị cho thấy khi hệ số độ cứng nền tăng lên từ  $1.10^6 \text{ N/m}^3$  đến  $7.10^6 \text{ N/m}^3$ , chuyển vị và ứng suất trong kết cấu giảm phi tuyến.

### 5. KẾT LUẬN

Bài báo khảo sát ảnh hưởng một số yếu tố hình học, vật liệu đến phản ứng động của ống composite chịu tác dụng của tải trọng di động. Qua phân tích kết quả khảo sát cho thấy: Số lớp của ống composite có ảnh hưởng rõ nét đến đáp ứng động của ống composite. Góc đặt cốt của lớp vật liệu composite cũng có ảnh hưởng đến phản ứng động học của ống composite. Hệ số độ cứng nền ảnh hưởng đáng kể đến chuyển vị và ứng suất theo quy luật: khi hệ số nền tăng thì chuyển vị và ứng suất của ống giảm.

Kết quả khảo sát làm cơ sở lý thuyết để vận dụng vào trong việc tính toán thiết kế chế tạo ống composite đặt trong các liên kết đàn hồi chịu tải trọng di động.

**Lời cảm ơn:** Các tác giả xin chân thành cảm ơn các nhà khoa học, các bạn đồng nghiệp đã có những ý kiến đóng góp quý báu để cho bài báo được hoàn thành và đạt kết quả tốt.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Fryba L, "Vibration of solids and structures under moving loads", Third edition, Thomas Telford, London, 1999.
- [2]. Faria A.R , "Finite element analysis of the dynamic response of cylindrical panels under traversing loads", European Journal of Mechanics A / Solids, 23 (2004), pp. 677-687, 2004.
- [3]. Tang S, "Dynamic Response of a tube under moving pressure", Journal of Engineering Mechanics Division, 91 (1996), pp. 96, 1996.

- [4]. Saranjam B., Bakhshandeh, K., Kadivar, M.H, “The dynamic response of a cylindrical tube under the action of a moving pressure”, Strojnický Vestník-Journal of mechanical engineering, 53, pp. 409-419,2007.
- [5]. Kambiz Bakhshandeh, Bahador Saranjam , “Thickness ratio effect on the dynamic response of a long cylinder tube under moving pressure”, Journal of mechanical engineering, pp 1-10,2009.
- [6]. Ahmad S., B. M Irons,O. Zienkiewicz (1970) “Analysis of thick and thin shell structures by curved finite element”. International Journal for Numerical Methods in Engineering; 2: 419-459.
- [7]. Liao C-L., CR. Cheng (1994). “Dynamic stability of Stiffened Laminated Composite Plates and Shells subjected to In-Plane Pulsating Forces”. International Journal for Numerical Methods in Engineering.37(24),4167-4183.
- [8]. Patel S. N.,P.K. Datta,A.H.Shekh (2006). “Buckling and dynamic instability analysis of stiffened Composite Panels”. Thin-Walled Structure 44,321-333.
- [9]. Eugerino Onate(2012). “Structural Analysis with the Finite Element Method Linear Statics”. Volume 2. Beams, Plates and Shells-Springer
- [10]. Trịnh Anh Tuấn, Trần Hữu Quốc và Trần Minh Tú (2016). “Phân tích tĩnh và dao động riêng của panel trụ composite lớp có gân gia cường”. Hội nghị khoa học toàn quốc Vật liệu và kết cấu Composite Cơ học, Công nghệ và ứng dụng, Trang 759-766.
- [11]. Đỗ Kiên Quốc, Khổng Trọng Toàn, “ Phân tích dao động của tấm trên nền đàn hồi chịu tải trọng chuyển động”, Tuyển tập CTKH Hội nghị Cơ học vật rắn biến dạng toàn quốc lần thứ 6 - Hà Nội, 1999.
- [12]. Nguyễn Văn Liên (2002), “Tấm và dầm nhiều lớp trên nền đàn hồi”, NXB Xây dựng, Hà Nội.
- [13]. Chu Quốc Thắng (1997), “Phương pháp phần tử hữu hạn”, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.

### ABSTRACT

#### ANALYSING THE EFFECT OF THE SOME FACTORS TO DYNAMIC RESPONSE OF COMPOSITE TUBE PUT ON ELASTIC FOUNDATION UNDER INSIDE MOVING PRESSURE

*In the article, some elements of the material (number of layers, corner of the composite tube), foundation characteristics that affect the dynamic response of the composite tube put on the elastic foundation under inside moving pressure are analysed. Using degenerated shell element 8 node, each node has 5 dofs to model composite tube and homogeneous theory for layer composite tube to construct the vibration equation of composite tube on the elastic foundation under inside moving pressure.*

**Keywords:** Composite tube; Degenerated shell element; Finite element; Moving pressure.

Nhận bài ngày 12 tháng 10 năm 2017

Hoàn thiện ngày 07 tháng 03 năm 2018

Chấp nhận đăng ngày 08 tháng 6 năm 2018

Địa chỉ: <sup>1</sup> Học viện Kỹ thuật quân sự;

<sup>2</sup> Viện Tên lửa - Viện khoa học và Công nghệ quân sự.

\*Email: [nguyenvietha12121980@gmail.com](mailto:nguyenvietha12121980@gmail.com) – [thanhvtv2010@gmail.com](mailto:thanhvtv2010@gmail.com).