MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài:

Kết cấu ống composite chịu tác dụng của tải trọng di động hiện đang được sử dụng và nghiên cứu nhiều trên thế giới, trong đó ứng xử động lực học của ống composite lớp đặt trong nền đàn hồi hoặc trên liên kết cứng chịu tác dụng của áp suất di động là cần thiết và được các nhà khoa học quan tâm làm rõ. Do đó đề tài "**Nghiên cứu tính toán ống trụ compsite dưới tác dụng của áp suất di động**" có ý nghĩa khoa học và cần thiết.

2. Mục đích nghiên cứu:

- Xây dựng thuật toán phần tử hữu hạn (PTHH) và chương trình máy tính nhằm phân tích phi tuyến động lực học ống trụ composite trong nền đàn hồi chịu tác dụng của áp suất di động.

- Đề xuất, kiến nghị các giải pháp hợp lý cho ống trên cơ sở kết quả khảo sát số với các lớp bài toán khác nhau, trong đó thông số về kết cấu, tải trọng, vật liệu, điều kiện liên kết, điều kiện nền thay đổi.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

- ***Đối tượng nghiên cứu:*** về kết cấu là ống trụ bằng vật liệu composite lớp đặt trong nền đàn hồi 1 hệ số theo mô hình nền Winkler và đặt trên các liên kết thông thường; về tải trọng là áp suất di động dọc trong ống composite với vận tốc không đổi hoặc thay đổi.

- **Phạm vi nghiên cứu:** xác định đáp ứng động lực học cho ống trụ composite làm việc trong giới hạn đàn hồi tuyến tính.

4. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu lý thuyết kết hợp với tính toán khảo sát số và thực nghiệm. Lý thuyết sử dụng phương pháp PTHH để xây dựng phương trình vi phân phi tuyến động lực học của ống composite; Xây dựng thuật toán và chương trình máy tính để khảo sát số với các lớp bài toán khác nhau.

5. Cấu trúc của luận án

Luận án gồm phần mở đầu, bốn chương, phần kết luận chung, tài liệu tham khảo, với 132 trang thuyết minh, trong đó có 26 bảng, 78 hình vẽ, đồ thị, 74 tài liệu tham khảo.

Mở đầu: Trình bày tính cấp thiết và cấu trúc của luận án

Chương 1: Tổng quan vấn đề nghiên cứu.

Chương 2: Phân tích phi tuyến động lực học ống trụ composite trong nền đàn hồi chịu áp suất di động.

Chương 3: Khảo sát ảnh hưởng của một số yếu tố đến đáp ứng phi tuyến động lực học của ống trụ composite chịu áp suất di động.

Chương 4: Nghiên cứu thực nghiệm.

Kết luận và kiến nghị

Tài liệu tham khảo

NỘI DUNG CHÍNH CỦA LUẬN ÁN

CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU

Trình bày các kết quả nghiên cứu trong nước và nước ngoài về kết cấu ống composite chịu tải trọng dạng áp suất di động. Từ các công trình đã công bố, trên cơ sở các vấn đề cần được tiếp tục nghiên cứu và phát triển, tác giả luận án tập trung nghiên cứu: **"Nghiên cứu tính toán ống trụ compsite chịu tác dụng của áp suất di động"**.

Luận án sẽ tập trung giải quyết các nội dung chủ yếu sau:

- Trình bày tổng quan về vật liệu composite, ứng dụng của nó trong thực tiễn. Tổng quan về áp suất di động, các mô hình tải trọng dạng áp suất di động.

- Xây dựng thuật toán PTHH và chương trình máy tính phân tích phi tuyến động lực học ống trụ composite đặt trong nền đàn hồi chịu tác dụng của áp suất di động.

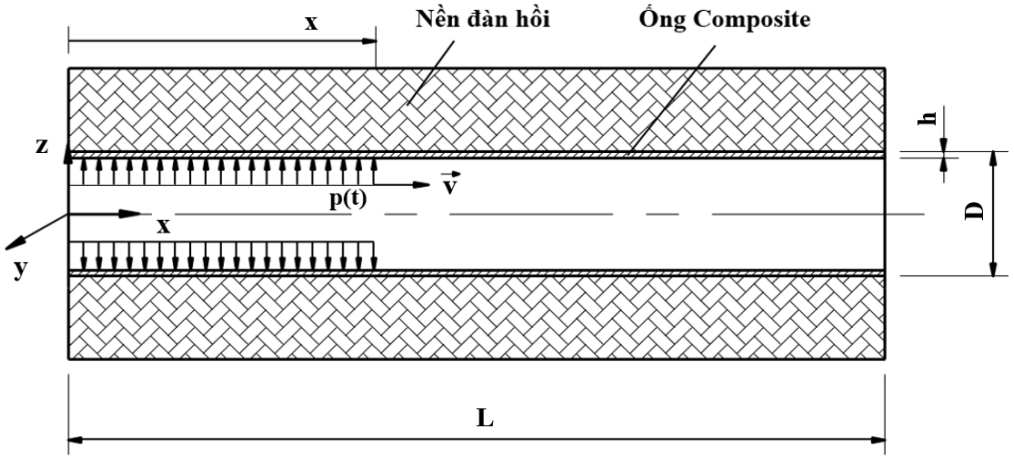
- Nghiên cứu mô phỏng số xem xét ảnh hưởng của các yếu tố: vật liệu kết cấu, tính chất của tải trọng, thông số hình học của kết cấu, tính chất của liên kết,…đến đáp ứng động lực học phi tuyến của ống trụ composite.

- Nghiên cứu thực nghiệm xác định đáp ứng biến dạng, gia tốc của kết cấu ống trụ composite đặt trên các liên kết đàn hồi và liên kết cứng chịu tác dụng của áp suất di động. Kết quả thí nghiệm là một trong các cơ sở cho việc kiểm tra độ tin cậy của chương trình tính do tác giả xây dựng trong chương 2 của luận án.

CHƯƠNG 2: PHÂN TÍCH PHI TUYẾN ĐỘNG LỰC HỌC ỐNG TRỤ COMPOSITE CHỊU TÁC DỤNG CỦA ÁP SUẤT DI ĐỘNG

2.1. Đặt bài toán, các giả thiết

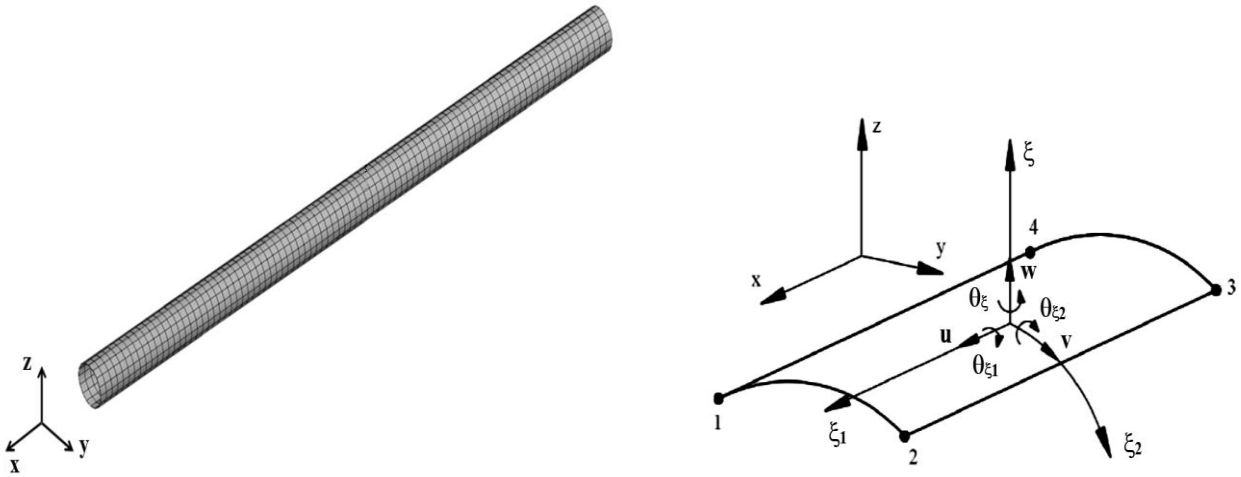
Mô hình bài toán được xây dựng trên cơ sở các giả thiết: Ống trụ composite với vật liệu các lớp đàn hồi tuyến tính, bố trí đối xứng qua mặt trung bình và bám dính lý tưởng với nhau; Tại mỗi thời điểm, áp suất p(t) phân bố đều và liên tục trong ống đến một mắt cắt ngang trong ống; Kích thước chiều dày ống thỏa mãn lý thuyết Reissner - Mindlin.



Hình 2.1. Mô hình ống trụ composite đặt trong nền đàn hồi chịu tác dụng áp suất di động

2.2. Thiết lập phương trình vi phân dao động phi tuyến của phần tử vỏ trong nền đàn hồi chịu áp suất di động

2.2.1. Phương trình vi phân dao động phi tuyến của phần tử vỏ



Hình 2.2. Mô hình PTHH của ống trụ composite và phần tử vỏ cong

- Phương trình dao động của phần tử vỏ:

$$\left[\bar{M}\right]_E^e \left\{\ddot{\bar{q}}\right\}^e + \left[\bar{K}\right]_E^e \left\{\bar{q}\right\}^e = \left\{\bar{f}\right\}_E^e, \tag{2.56}$$

- Ma trận khối lượng của phần tử:

$$\left[M^e\right]_E = \int_{-1}^{1}\int_{-1}^{1} \left[N_u\right]^T \left[I_0\right]\left[N_u\right] \|J\| dr ds \tag{2.48}$$

- Ma trận độ cứng của phần tử:

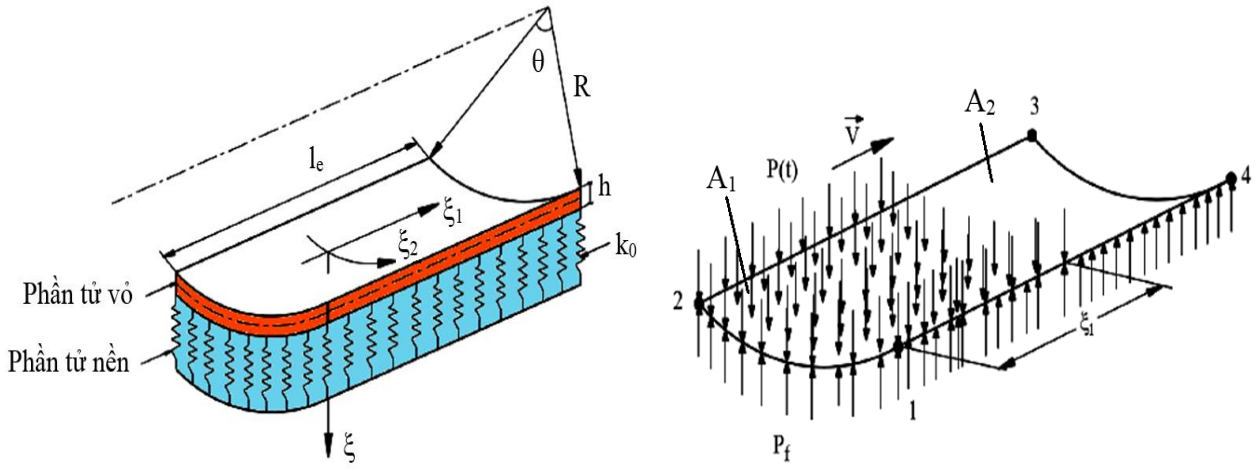
$$\left[K^e\right]_E = \left(\left[K_L^u\right]_E^e + \left[K^Q\right]_E^e\right) + \left[K_N^u\right]_E^e, \tag{2.49}$$

- Vectơ lực nút của phần tử:

$$\left\{f^e\right\}_E = \int_{V_e} \left\{f_b^e\right\} dV + \int_{A_e} \left\{f_s^e\right\} dA + \left\{f_c^e\right\}, \tag{2.50}$$

2.2.2. Phần tử vỏ trong nền đàn hồi chịu tác dụng của áp suất di động

Xét phần tử vỏ nằm trong nền đàn hồi với mô hình nền Winkler, chịu tác dụng của áp suất phân bố đều di chuyển trên phần tử với vận tốc đều v, theo chiều trục ξ_1 (Hình 2.3).



Hình 2.3. Mô hình phần tử vỏ cong trong nền đàn hồi chịu áp suất di động

Xét phần tử bất kỳ tại thời điểm t. Trong trường hợp tổng quát, trên phần tử tồn tại hai vùng diện tích A_1 và A_2, với A_1 là diện tích chịu áp suất phân bố đều theo cường độ p(t), còn A_2 là diện tích mà trên đó áp suất bằng 0 (do môi chất chưa di chuyển đến). Các diện tích A_1, A_2 xác định bởi:

$$A_1 = R\int_0^{\theta}\int_0^{\xi_1} \xi_1 d\theta d\xi_1 ;\ A_2 = R\int_0^{\theta}\int_{\xi_1}^{l_e} \xi_1 d\theta d\xi_1 \qquad (2.58)$$

Phương trình vi phân dao động của phần tử vỏ trong nền đàn hồi chịu áp suất di động viết trong hệ tọa độ tổng thể như sau:

$$\left[\tilde{M}\right]_G^e \left\{\ddot{\tilde{q}}\right\}^e + \left(\left[\tilde{K}\right]^e + \left[\tilde{K}_f\right]^e\right)_G \left\{\tilde{q}\right\}^e = \left\{\tilde{f}_m\right\}_G^e \qquad (2.64)$$

2.3. Thuật toán giải phương trình vi phân dao động phi tuyến của ống trụ trong nền đàn hồi chịu áp suất di động

2.3.1. Phương trình vi phân dao động phi tuyến của ống trụ trong nền đàn hồi chịu áp suất di động

Sau khi tập hợp các ma trận và vectơ tải trọng tổng thể, ta có phương trình vi phân dao động phi tuyến của ống trụ composite trong nền đàn hồi chịu tác dụng của áp suất di động:

$$\left[\tilde{\tilde{M}}\right]\left\{\ddot{\tilde{\tilde{q}}}\right\} + \left[\tilde{\tilde{C}}\right]\left\{\dot{\tilde{\tilde{q}}}\right\} + \left[\tilde{\tilde{K}}\right]\left\{\tilde{\tilde{q}}\right\} = \left\{\tilde{\tilde{f}}_m\right\}, \qquad (2.67)$$

2.3.2. Điều kiện biên và phương trình dao động của hệ sau khi khử biên

Với bài toán ống trụ composite đặt trong nền đàn hồi tựa hai đầu chịu áp suất di động như trong luận án, điều kiện biên được xác định:

$$\begin{aligned} w(0,t) &= w(L,t) = 0, \\ M(0,t) &= M(L,t) = 0. \end{aligned} \qquad (2.70)$$

trong đó: w(x,t) - chuyển vị hướng kính tại điểm x và thời gian t,

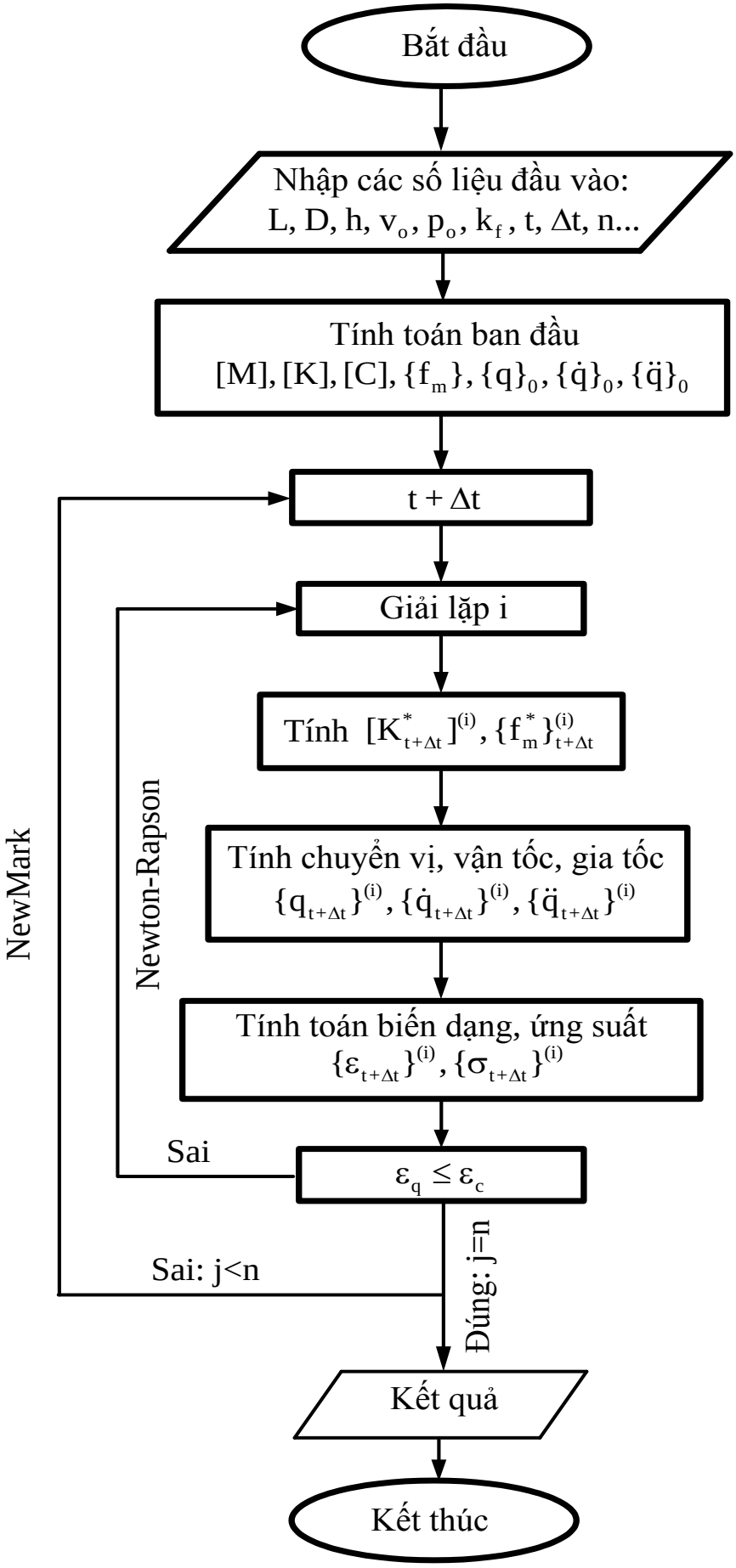
M(x,t) - mô men uốn tại điểm x và thời gian t.

Với ống trụ composite đặt trên gối cứng (liên kết tựa): chuyển vị hướng kính tại các nút chứa liên kết tựa bằng 0.

Sau khi khử biên, phương trình vi phân dao động của ống trụ composite trong nền đàn hồi chịu áp suất di động:

$$[M]\{\ddot{q}\} + [C]\{\dot{q}\} + [K]\{q\} = \{f_m\}. \qquad (2.71)$$

Nhiệm vụ ở đây là xác định đáp ứng phi tuyến động lực học của hệ, bằng cách giải hệ phương trình phi tuyến (2.71). Trong trường hợp này phương pháp tích phân trực tiếp Newmark kết hợp với phương pháp lặp Newton-Raphson được tác giả áp dụng. Sơ đồ thuật toán thể hiện trên hình 2.5 sau đây.



Hình 2.5. Sơ đồ thuật toán

2.4. Chương trình tính và kiểm tra độ tin cậy của chương trình

Tên chương trình: *CPMP_2019.*

Kiểm tra độ tin cậy của chương trình:

Để kiểm tra độ tin cậy của chương trình tính, tác giả sử dụng chương trình đã lập, tiến hành tính toán, so sánh đáp ứng chuyển vị hướng kính của ống bằng vật liệu đẳng hướng, chịu áp suất di động với vận tốc v như trong công trình công bố của Sayyed A. A [68].

Kết quả so sánh về chuyển vị hướng kính tại các điểm thuộc lớp giữa, dọc theo chiều dài ống tại thời điểm t = 0.006s được thể hiện như bảng 2.2.

Bảng 2.2. Tóm tắt giá trị lớn nhất

TT	Phương pháp	Giá trị w_{max} [mm]	Sai khác [%]
1	Sayyed A. A [68]	0,112	3,57
2	Tác giả Luận án (CPMP_2019)	0,116	

Kết quả chuyển vị hướng kính được tính bằng chương trình CPMP_2019 do tác giả lập đồng dạng với kết quả tính của các tác giả trong công trình [68]. Sai số 3,57% trong trường hợp này theo tác giả là chấp nhận được. Do vậy, đây là một tín hiệu cho thấy thuật toán và chương trình tính đã lập trong chương này là có thể tin cậy.

Kết luận chương 2

- Xây dựng hệ phương trình vi phân dao động phi tuyến của phần tử vỏ cong trong nền đàn hồi, chịu tác dụng của áp suất di động. Áp dụng thuật toán PTHH tập hợp ma trận, vectơ tải tổng thể từ các ma trận và vectơ tải trọng phần tử, thiết lập được phương trình vi phân dao động phi tuyến của ống trụ composite trong nền đàn hồi chịu tác dụng của áp suất di động dọc trong ống.

- Thiết lập được thuật toán và chương trình tính CPMP_2019 cho phép giải bài toán phi tuyến động lực học ống trụ composite chịu áp suất di động, với các điều kiện liên kết khác nhau: ống đặt trong nền đàn hồi 1 hệ số theo mô hình nền Winkler và ống đặt trên liên kết cứng tuyệt đối. Chương trình tính đã được kiểm chứng và có cơ sở để tin cậy.

- Bộ chương trình tính CPMP_2019 là công cụ để tính toán, khảo sát số, xem xét ảnh hưởng của các thông số, từ đó cho phép lựa chọn được các phương án hợp lý cho kết cấu và tải trọng sử dụng, định hướng tham khảo đối với các công trình ống dẫn áp dụng trong thực tế.

CHƯƠNG 3
KHẢO SÁT ẢNH HƯỞNG CỦA MỘT SỐ YẾU TỐ ĐẾN ĐÁP ỨNG PHI TUYẾN ĐỘNG LỰC HỌC CỦA ỐNG TRỤ COMPOSITE CHỊU TÁC DỤNG CỦA ÁP SUẤT DI ĐỘNG

Trong chương này tác giả tiến hành tính toán số, khảo sát của các yếu tố ảnh hưởng đến đáp ứng phi tuyến động lực học của ống trụ composite đặt trong nền đàn hồi và trên liên kết cứng chịu áp suất di động.

3.1. Ống composite trong nền đàn hồi chịu áp suất di động

3.1.1. Bài toán xuất phát

Xét ống trụ composite gồm 10 lớp bố trí đối xứng theo quy luật góc đặt cốt: $[45^0/-45^0]_{10}$, mỗi lớp là vật liệu composite đồng phương, chiều dày các lớp như nhau. L= 18 m, R = 0,2 m, h = 0,01m. Ống đặt trong nền đàn hồi và liên kết tựa 2 đầu, hệ số nền $k_0 = 9.10^6 N/m^3$, phía trong ống chịu tác dụng của áp suất $p = 6.10^5$ N/m^2 di chuyển dọc theo chiều dài ống với vận tốc v = 12m/s (Hình 3.1). Tính chất cơ lý của mỗi lớp vật liệu gồm: Mô đun đàn hồi $E_1= 145.10^9$ N/m^2, $E_2= 9,77.10^9$ N/m^2, $E_3= 9,77.10^9$ N/m^2, mô đun đàn hồi trượt $G_{12}= 4.10^9$ N/m^2, $G_{23}= 3,5.10^9$ N/m^2, $G_{31}= 4.10^9$ N/m^2, hệ số poisson $\nu_{12} = 0,25$, $\nu_{23} = 0,02$, $\nu_{31} = 0,25$.

Áp suất tại mỗi điểm thuộc ống cho bởi quy luật:

$$p(t) = p_0 u(t - x/v) = \begin{cases} 0 & \text{khi} \quad t < \dfrac{x}{v}, \quad t > \dfrac{L}{v} \\ p_0 & \text{khi} \quad \dfrac{x}{v} \le t \le \dfrac{L}{v} \end{cases} \tag{3.1}$$

Tác giả tiến hành khảo sát số với các trường hợp chia lưới khác nhau, cho đến khi chênh lệch giữa các kết quả liên tiếp nhỏ hơn 0.5%, khi đó chương trình tính đạt tới hội tụ. Mô hình PTHH ống composite được sử dụng trong nghiên cứu này với 1800 phần tử, 1909 nút.

Điều kiện ban đầu: $w(x,0) = \dot{w}(x,0) = 0$

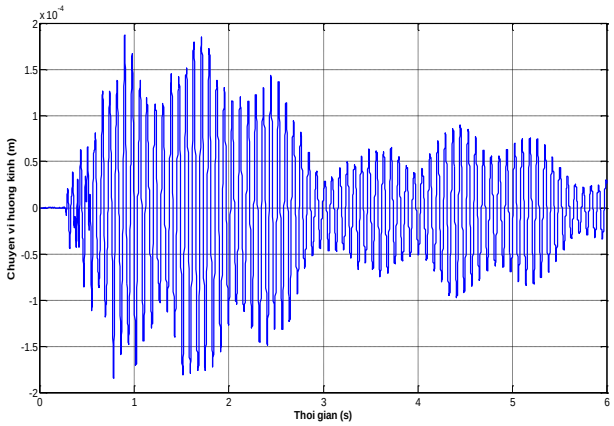
Điều kiện biên khi ống trụ composite đặt trong nền đàn hồi tựa hai đầu:

$$\begin{aligned} w(0,t) &= w(L,t) = 0, \\ M(0,t) &= M(L,t) = 0. \end{aligned} \tag{3.2}$$

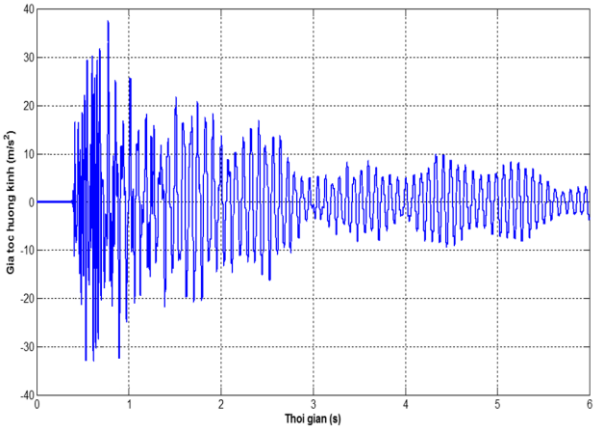
Sử dụng chương trình tính CPML_2019 đã lập, tiến hành tính toán đối với bài toán dao động riêng và dao động cưỡng bức của hệ, kết quả:

Bài toán dao động riêng: 5 dạng dao động riêng tương ứng với 5 tần số riêng đầu tiên của ống composite: f_1= 11.6541 Hz, f_2= 13.0037 Hz, f_3= 26.3889 Hz, f_4= 31.6088 Hz, f_5= 36.3466 Hz.

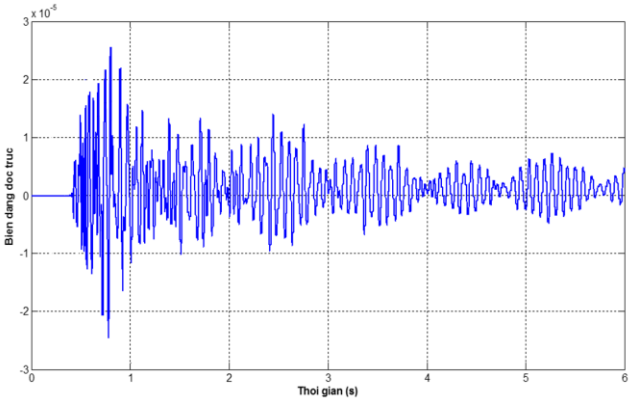
Bài toán dao động cưỡng bức: Giải bài toán với thông số đã cho ở trên, kết quả ta nhận được đáp ứng các chuyển vị, gia tốc hướng kính, biến dạng dọc trục và ứng suất pháp tại điểm giữa thuộc ống composite như đồ thị hình 3.5 đến 3.9.



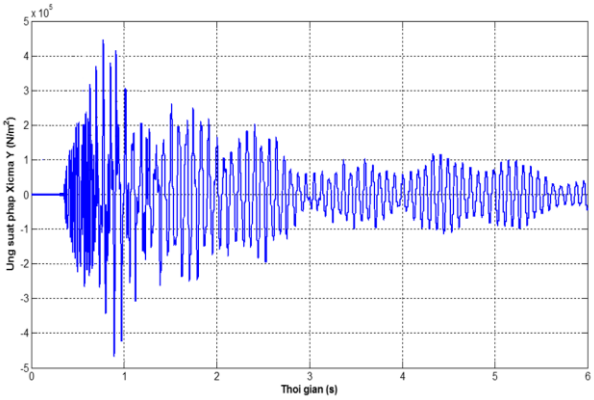
Hình 3.5. Đáp ứng chuyển vị hướng kính w theo thời gian



Hình 3.6. Đáp ứng gia tốc hướng kính $\ddot{w}$ theo thời gian



Hình 3.7. Đáp ứng biến dạng dọc trục ε_x theo thời gian



Hình 3.8. Đáp ứng ứng suất pháp σ_y theo thời gian

Nhận xét: Với kết quả ở trên, ta thấy các đáp ứng chuyển vị, gia tốc, biến dạng và ứng suất tại điểm giữa của ống composite có hình dạng quy luật tương đồng, có giá trị lớn nhất trong khoảng thời gian từ 0,75 đến 0,8s, đây cũng là thời điểm mặt di chuyển của khối chất mang áp suất vừa đi qua mặt cắt giữa ống.Sau thời điểm đó các khối chất ở ngay phía sau tiếp tục di chuyển qua mặt cắt giữa ống và gây ra các đáp ứng động học cho ống, tuy nhiên tác dụng của nó lên kết cấu ống có xu hướng giảm dần, nên

có thể thấy trên các đồ thị là các đáp ứng chuyển vị, gia tốc, biến dạng và ứng suất tại điểm giữa của ống có biên độ giảm dần về thời gian cuối.

3.1.2. Khảo sát ảnh hưởng của một số yếu tố đến tần số dao động riêng của ống trụ composite

3.1.2.1. Ảnh hưởng của số lớp ống composite:

Bảng 3.2. Các tần số dao động riêng đầu tiên và số lớp

Số lớp	5	10	15	20	25
f_1 (Hz)	11.5119	11.6128	11.6605	11.6581	11.6668
f_2 (Hz)	12.9755	12.9936	12.9944	13.0044	13.0004
f_3 (Hz)	26.3242	26.3289	26.3903	26.3909	26.3927
f_4 (Hz)	31.1085	31.4886	31.6218	31.6242	31.6507
f_5 (Hz)	36.2236	36.2714	36.3184	36.3482	36.3368

Nhận xét: Khi số lớp tăng thì tần số dao động riêng tăng, tuy nhiên sự chênh lệch là không đáng kể.

3.1.2.2. Ảnh hưởng của chiều dài ống composite:

Bảng 3.3. Các tần số dao động riêng đầu tiên và chiều dài ống

L (m)	6	9	12	15	18	21
f_1 (Hz)	34.4022	22.2964	16.8801	13.7421	11.6541	10.1448
f_2 (Hz)	41.1517	26.5244	19.6439	15.6338	13.0037	11.1444
f_3 (Hz)	74.1437	51.3260	39.0368	31.4978	26.3889	22.6977
f_4 (Hz)	75.7835	60.2993	45.5583	37.1157	31.6088	27.6779
f_5 (Hz)	75.9449	72.8718	54.8997	43.6878	36.3466	31.1712

Nhận xét: Khi chiều dài ống composite tăng thì tần số dao động riêng giảm và sự thay đổi là đáng kể. Khi chiều dài ống thay đổi từ 6m đến 21m, thì tần số riêng tần số riêng đầu tiên f_1 giảm 3,39 lần; tần số riêng f_2 giảm 3,69 ; tần số riêng f_5 giảm 2,43. Do vậy chiều dài ống composite ảnh hưởng lớn đến tần số dao động riêng của ống composite.

3.2.2.3. Ảnh hưởng của góc đặt cốt:

Bảng 3.4. Các tần số dao động riêng đầu tiên và góc đặt cốt

Tần số DĐR (Hz)	Phương án 1	Phương án 2	Phương án 3
f_1	11.5119	10.1099	10.2443
f_2	12.9755	10.6975	11.0523
f_3	26.3242	26.7603	26.9773
f_4	31.1085	29.1660	28.3115
f_5	36.2236	45.0217	32.4590

Nhận xét: Với các phương án được khảo sát, ta thấy tần số dao động riêng thay đổi với giá trị không đáng kể.

3.1.2.4. Ảnh hưởng của chiều dày ống composite:

Bảng 3.5. Các tần số dao động riêng đầu tiên và chiều dày ống

Chiều dày h (m)	0.005	0.01	0.015	0.02	0.025
f_1 (Hz)	10.9036	11.6541	11.9880	12.1515	12.2407
f_2 (Hz)	12.8357	13.0037	13.0750	13.1358	13.1908
f_3 (Hz)	26.3533	26.3889	26.4004	26.4059	26.4090
f_4 (Hz)	28.9986	31.6088	32.9721	33.6915	34.0961
f_5 (Hz)	35.8843	36.3466	36.5942	36.8951	37.2071

Nhận xét: Khi chiều dày ống composite tăng thì tần số dao động riêng cũng tăng. Khi chiều dày ống thay đổi từ 0,005m đến 0,025m thì tần số riêng f_1 tăng 1,12 lần; tần số riêng f_2 tăng 1,027; tần số riêng f_5 tăng 1,037.

3.1.2.5. Ảnh hưởng của độ cứng nền đàn hồi:

Bảng 3.6. Các tần số dao động riêng đầu tiên và độ cứng nền

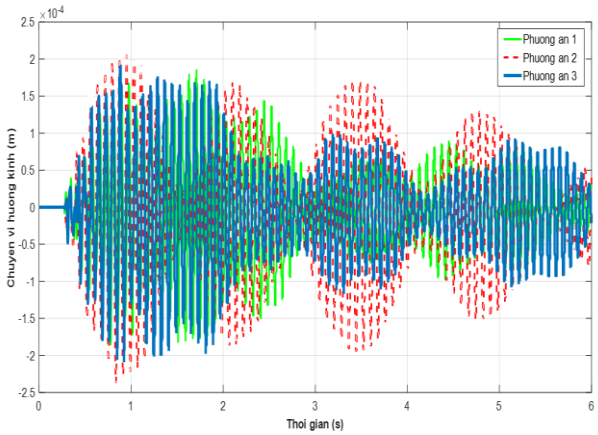
Hệ số nền (N/m^3)	9.10^6	12.10^6	15.10^6	18.10^6	21.10^6
f_1 (Hz)	11.6541	15.9926	19.2531	21.9543	24.3006
f_2 (Hz)	13.0037	18.1502	22.0937	25.4042	28.3067
f_3 (Hz)	26.3889	32.2763	37.1833	41.5005	45.4037
f_4 (Hz)	31.6088	43.2505	52.0277	59.3124	65.6525
f_5 (Hz)	36.3466	50.6494	61.5541	70.6622	78.6071

Nhận xét: Khi độ cứng nền đàn hồi tăng thì tần số dao động riêng cũng tăng. Khi hệ số nền thay đổi từ 9.10^6 N/m^3 đến 21.10^6 N/m^3 thì tần số riêng

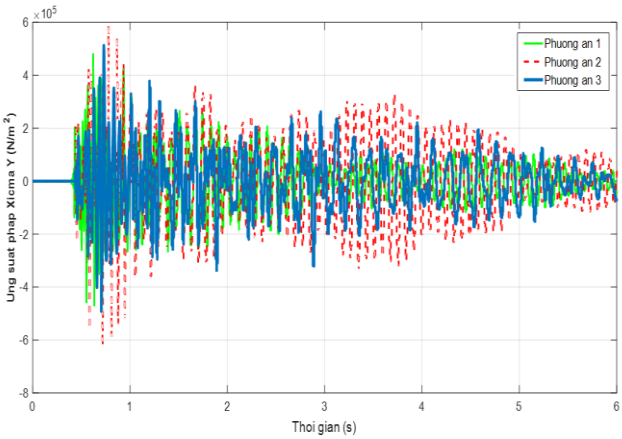
f_1 tăng 2,085 lần; tần số riêng f_2 tăng 2,17; tần số riêng f_5 tăng 2,16. Vậy độ cứng nền đàn hồi có ảnh hưởng lớn đến tần số dao động riêng của ống composite.

3.1.3. Khảo sát ảnh hưởng của một số yếu tố đến đáp ứng động lực học của ống trụ composite

3.1.3.1. Ảnh hưởng của góc đặt cốt:



Hình 3.16. Đáp ứng chuyển vị hướng kính w theo thời gian

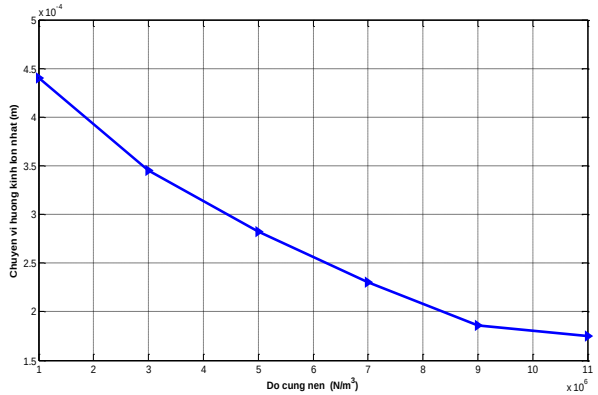


Hình 3.17. Đáp ứng ứng suất pháp σ_y theo thời gian

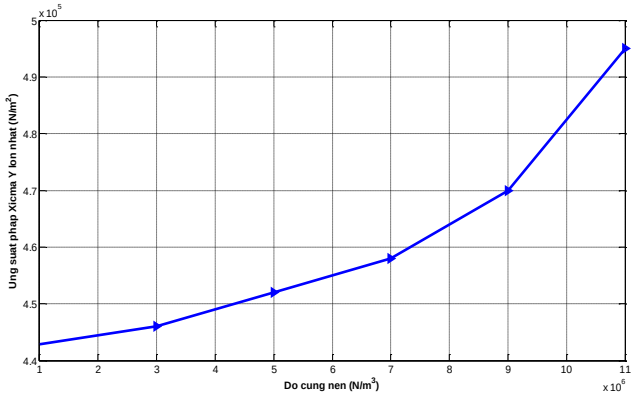
Nhận xét:

Góc đặt cốt có ảnh hưởng đến chuyển vị hướng kính và ứng suất pháp của ống composite. Ta thấy so với các phương án đặt cốt, thì phương án 2 có chuyển vị hướng kính và ứng suất pháp lớn nhất và phương án 1 có chuyển vị và ứng suất pháp nhỏ nhất. So sánh phương án 2 với phương án 1 thì chuyển vị cao gấp 1,29 lần, ứng suất pháp σ_y là 1,3 lần.

3.1.3.2. Ảnh hưởng của độ cứng nền đàn hồi:



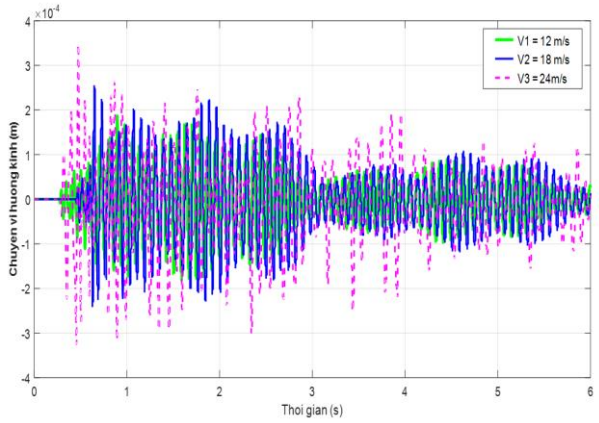
Hình 3.19. Quan hệ w_{Max} và độ cứng nền đàn hồi



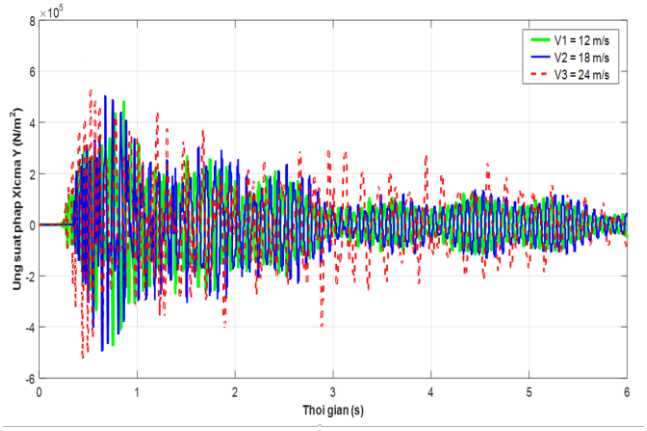
Hình 3.20. Quan hệ σ_y^{Max} và độ cứng nền đàn hồi

Nhận xét: Phân tích đồ thị cho thấy khi hệ số nền tăng lên từ 1.10^6 N/m^3 đến 10.10^6N/m^3, thì đáp ứng động lực học trong ống thay đổi phi tuyến, cụ thể chuyển vị trong kết cấu giảm, còn ứng suất pháp trong kết cấu tăng lên. Khi hệ số nền tăng lên từ 1.10^6 N/m^3 đến 7.10^6N/m^3 thì chuyển vị trong kết cấu giảm đáng kể (giảm 1,91 lần), hệ số nền (độ cứng của nền) tiếp tục tăng lên thì chuyển vị của ống giảm chậm lại. Điều này hoàn toàn phù hợp với quy luật cơ học. Với ứng suất pháp thì ngược lại, nó tỉ lệ thuận với hệ số nền đàn hồi, khi độ cứng của nền nhỏ thì ứng suất pháp của ống nhỏ, khi tăng độ cứng nền lên cao ta thấy ứng suất pháp cũng tăng lên. Do vậy có thể thấy rằng, độ cứng nền có ảnh hưởng lớn đến đáp ứng động lực học của ống compoiste.

3.1.3.3. Ảnh hưởng tốc độ di chuyển của tải trọng:



Hình 3.22. Đáp ứng chuyển vị hướng kính w theo thời gian



Hình 3.23. Đáp ứng ứng suất pháp σ_y theo thời gian

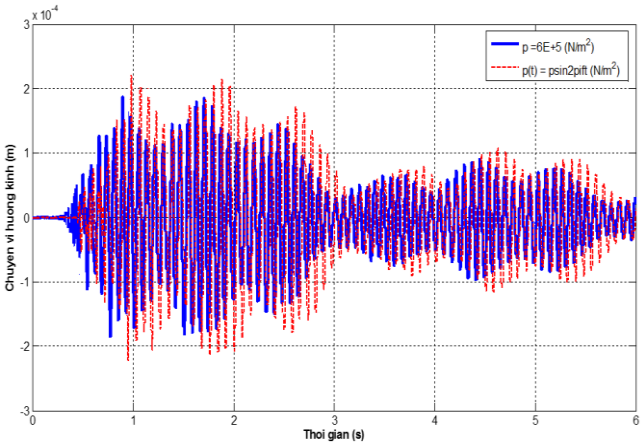
Nhận xét:

Khi tăng vận tốc của áp suất di động, ta thấy biên độ chuyển vị và ứng suất pháp cũng tăng lên, cụ thể khi vận tốc tăng từ 12m/s đến 24m/s thì chuyển vị w tăng 1,79 lần, ứng suất pháp σ_y tăng 1,19 lần; còn vị trí biên độ của chuyển vị và ứng suất pháp cũng thay đổi với sự thay đổi của vận tốc, khi vận tốc tăng từ 12m/s đến 24m/s thì vị trí chuyển vị và ứng suất pháp lần lượt đạt giá trị lớn nhất tại thời điểm 0,75s, 0,65s và 0,55s.

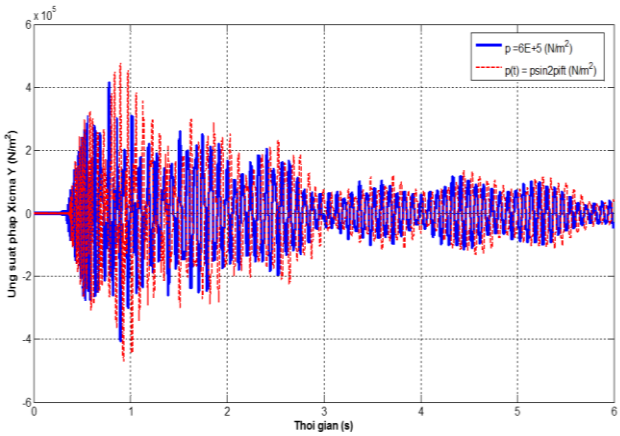
3.1.3.4. Ảnh hưởng của tải trọng

Trường hợp 1: Áp suất là hàm điều hòa

Xem xét bài toán như trên, với trường hợp khi áp suất trong ống thay đổi theo chu kỳ có dạng p(t) = psin2πft, với f = 50 Hz và p = $6.10^5 N/m^2$.



Hình 3.25. Đáp ứng chuyển vị hướng kính w theo thời gian

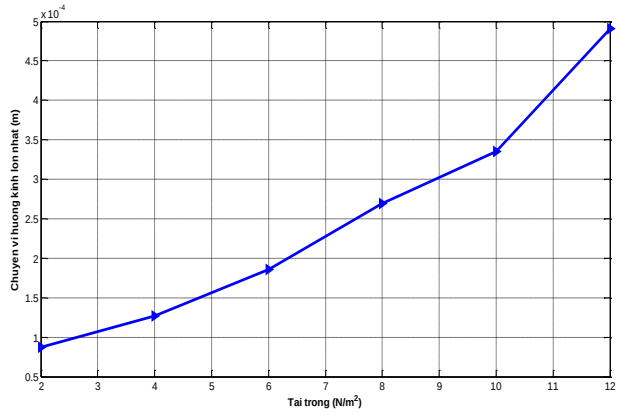


Hình 3.26. Đáp ứng ứng suất pháp σ_y theo thời gian

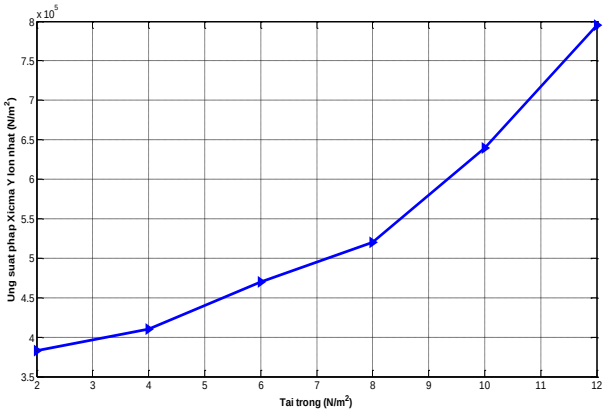
Nhận xét:

Ta thấy quy luật biến thiên của đáp ứng động lực học của 2 trường hợp áp suất là hàm điều hòa và áp suất không đổi p là tương đồng, về mặt giá trị thì chuyển vị lớn nhất w_{Max} của ống composite trong trường hợp áp suất là hàm điều hòa lớn hơn trường hợp áp suất không đổi là 1,2 lần, ứng suất pháp lớn nhất lớn hơn 1,15 lần (σ_y^{Max}). Giá trị lớn hơn trong trường hợp áp suất là hàm điều hòa có thể là do hiện tượng cộng hưởng xảy ra khi tần số dao động riêng trùng với tần số của hàm áp suất điều hòa.

Trường hợp 2: Áp suất di động là hằng số



Hình 3.28. Quan hệ w_{Max} và tải trọng



Hình 3.29. Quan hệ σ_y^{Max} và tải trọng

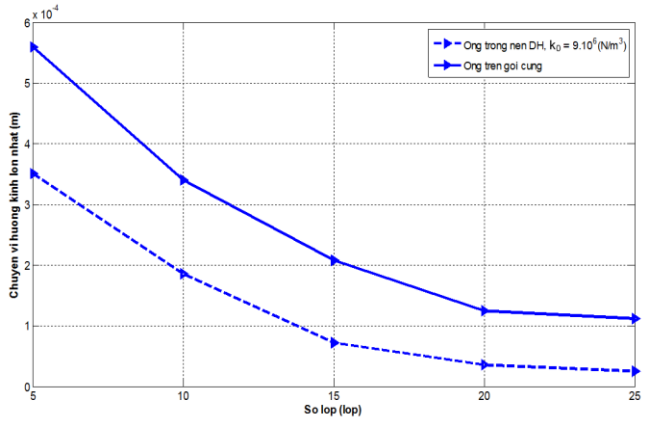
Nhận xét:

Khi tăng tải trọng từ 2.10^5 đến 12.10^5 N/m^2 chuyển vị hướng kính và ứng suất pháp tăng phi tuyến: chuyển vị hướng kính w_{Max} tăng 5,64 lần, ứng suất pháp σ_y^{Max} tăng 2,07 lần. Như vậy ta thấy rằng, tải trọng có ảnh hưởng lớn đến đáp ứng động lực học của ống composite.

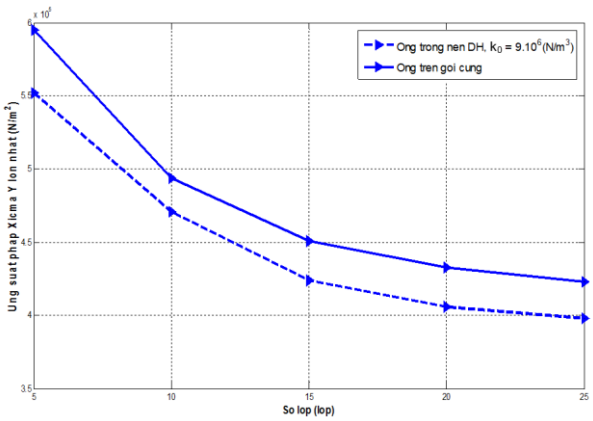
3.2. Ống trụ composite trên gối cứng chịu áp suất di động

Trong phần này, để khẳng định tính linh hoạt của chương trình tính cũng như định hướng tham khảo trong tính toán, thiết kế các công trình ống dẫn lộ thiên thường gặp trong thực tế, tác giả tính toán số đối với bài toán ống trụ composite đặt trên 4 gối cứng tuyệt đối, bố trí cách đều nhau, chịu áp suất di động, trong đó các thông số kết cấu, tải trọng như mục 3.1. Lúc này hệ số nền trong phương trình (2.58) $k_0 = 0$ và điều kiện biên với ống trụ composite đặt trên các gối cứng (liên kết tựa) là chuyển vị hướng kính tại các nút chứa liên kết tựa bằng 0.

3.2.1. Ảnh hưởng của số lớp ống composite



Hình 3.31. Quan hệ w_{Max} và số lớp

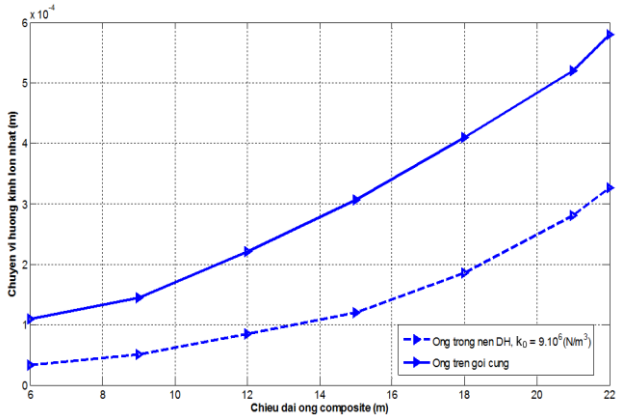


Hình 3.32.Quan hệ σ_y^{Max} và số lớp

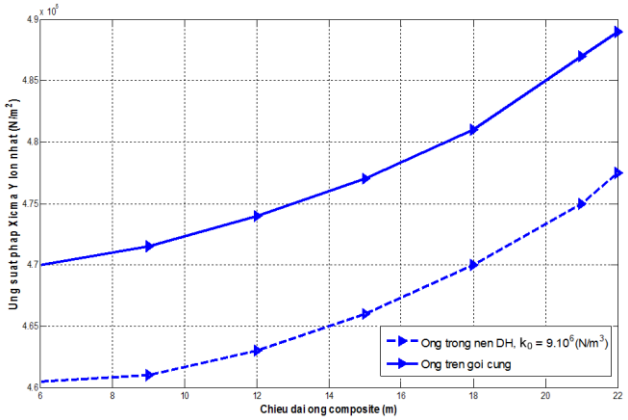
Nhận xét:

Khi tăng số lớp từ 5 lớp đến 15 lớp thì chuyển vị hướng kính lớn nhất và ứng suất pháp lớn nhất giảm nhanh, còn khi số lớp từ 20 đến 25 thì giá trị của chuyển vị hướng kính và ứng suất pháp giảm với tốc độ chậm.

3.2.2. Ảnh hưởng của chiều dài ống



Hình 3.34. Quan hệ w_{Max} và chiều dài ống composite

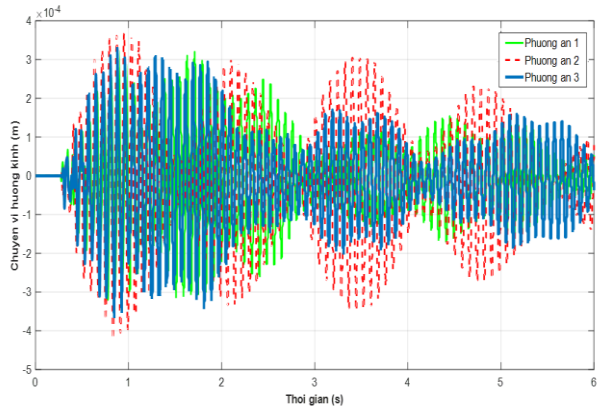


Hình 3.35. Quan hệ σ_y^{Max} và chiều dài ống composite

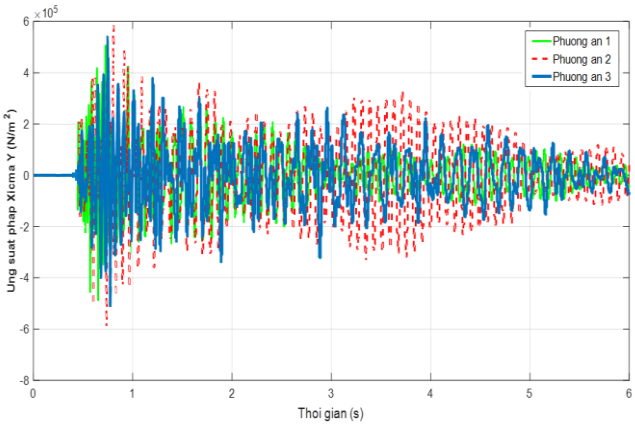
Nhận xét:

Trường hợp ống composite đặt trên các gối cứng, khi tăng chiều dài ống composite thì chuyển vị hướng kính lớn nhất và ứng suất pháp lớn nhất cũng tăng lên, cụ thể khi thay đổi chiều dài ống composite từ 6m đến 21m, ta thấy chuyển vị hướng kính lớn nhất w_{Max} tăng 5,26 lần , ứng suất pháp σ_y^{Max} tăng 1,04 lần. So sánh với trường hợp ống composite đặt trong nền đàn hồi (hệ số nền $k_0 = 9.10^6$ N/m^3), thì đáp ứng động lực học trong trường hợp ống đặt trên gối cứng là lớn hơn.

3.2.3. Ảnh hưởng của góc đặt cốt



Hình 3.37. Đáp ứng chuyển vị hướng kính w với 3 phương án đặt cốt



Hình 3.38. Đáp ứng ứng suất pháp σ_y với 3 phương án đặt cốt

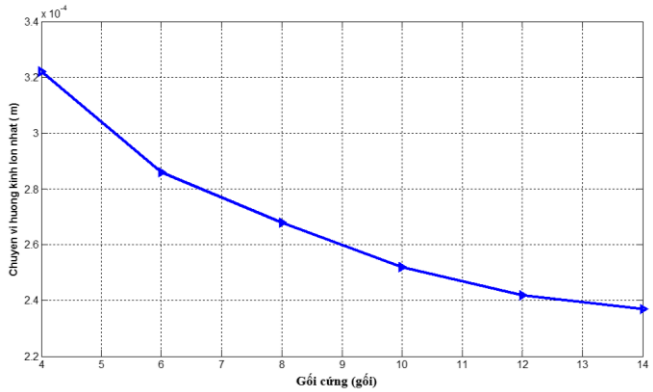
Nhận xét:

Góc đặt cốt có ảnh hưởng đến chuyển vị và ứng suất của ống composite, trong 3 phương án trên, phương án 2 có chuyển vị và ứng suất pháp lớn

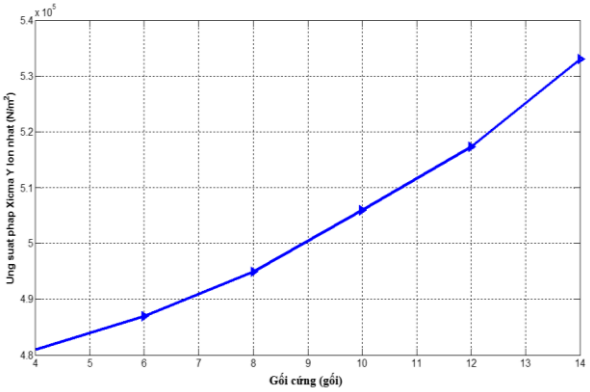
nhất và phương án 1 có chuyển vị và ứng suất pháp nhỏ nhất, đây là cơ sở cho việc lựa chọn giải pháp đặt cốt hợp lý cho các lớp composite của ống.

3.2.4. Ảnh hưởng số lượng gối cứng

Khảo sát bài toán với sự thay đổi số lượng gối cứng từ 4 đến 14 gối, bố trí cách đều nhau trên chiều dài L=18m.



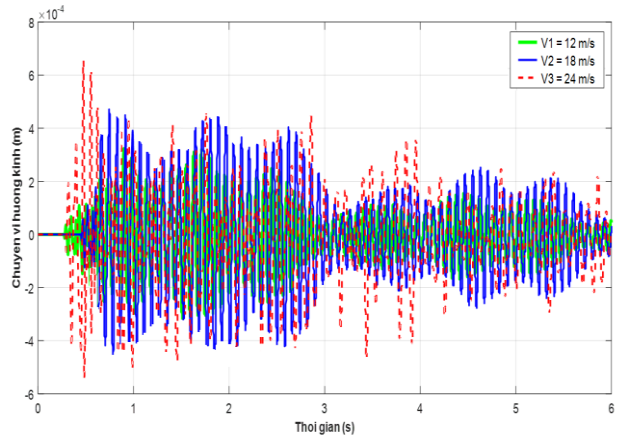
Hình 3.40. Quan hệ w_{Max} và gối cứng



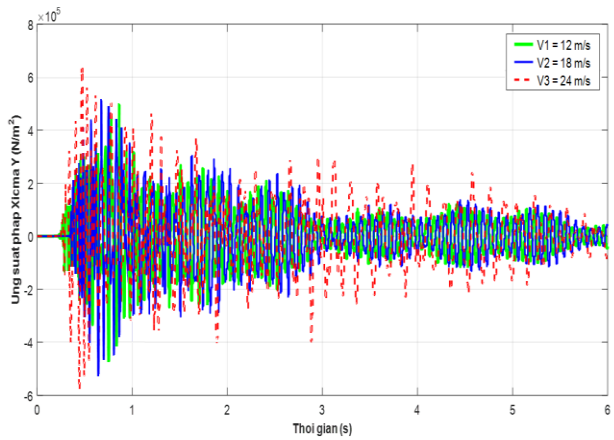
Hình 3.41.Quan hệ σ_y^{Max} và gối cứng

Nhận xét: Khi số lượng gối cứng tăng lên, đồng nghĩa với độ cứng vững của kết cấu cũng tăng lên, nên khi đó ta thấy chuyển vị của ống composite giảm và ứng suất pháp của kết cấu ống thì tăng lên. Điều này cũng hoàn toàn phù hợp với quy luật cơ học. Đây là cơ sở để lựa chọn số lượng gối cho ống composite một cách hợp lý.

3.2.5. Ảnh hưởng tốc độ di chuyển của tải trọng



Hình 3.43. Đáp ứng chuyển vị hướng kính w với sự thay đổi của vận tốc



Hình 3.44. Đáp ứng ứng suất pháp σ_y với sự thay đổi của vận tốc

Nhận xét:

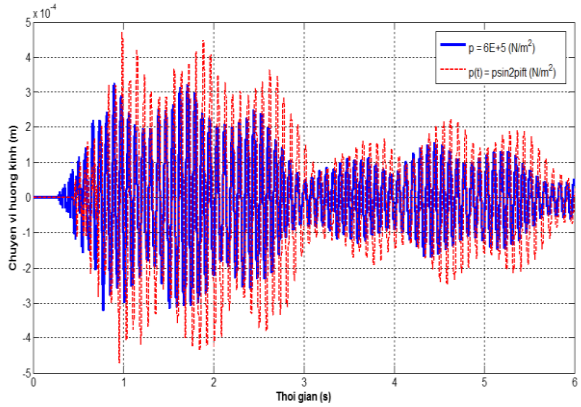
Khi vận tốc của áp suất di động tăng lên, chuyển vị và ứng suất pháp cũng tăng. Khi vận tốc tăng từ 12m/s đến 24m/s thì chuyển vị w tăng lên 1,94 lần, ứng suất pháp σ_y tăng 1,32 lần và vị trí biên độ của chuyển vị và ứng

suất pháp cũng thay đổi với sự thay đổi của vận tốc, khi vận tốc tăng từ 12m/s đến 24m/s thì vị trí chuyển vị và ứng suất pháp lần lượt đạt giá trị lớn nhất tại thời điểm 0,75s, 0,65s và 0,55s.

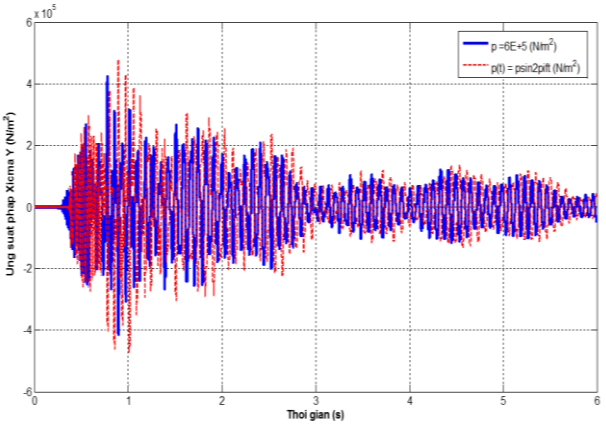
3.2.6. Ảnh hưởng của tải trọng

Trường hợp 1: Tải trọng là hàm điều hòa

Tính toán với trường hợp: áp suất p(t) = psin2πft, với f = 50Hz và p = 6.10^5 N/m^2.



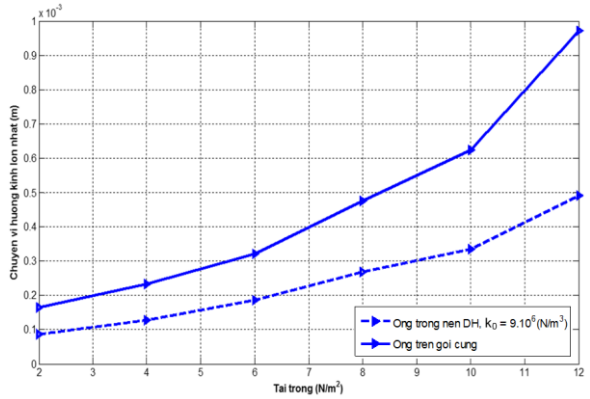
Hình 3.46. Đáp ứng chuyển vị hướng kính w theo thời gian



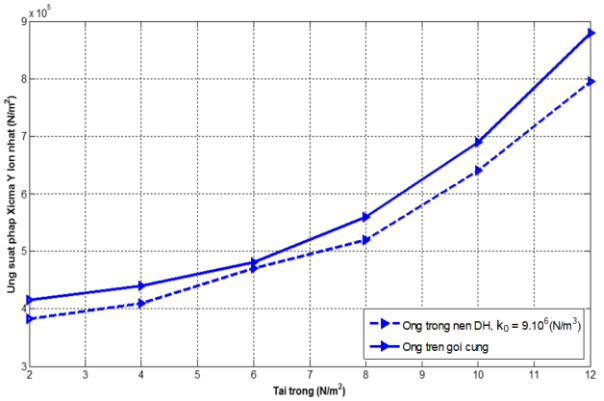
Hình 3.47. Đáp ứng ứng suất pháp σ_y theo thời gian

Nhận xét: Ta thấy quy luật biến thiên của đáp ứng động lực học của 2 trường hợp áp suất là hàm điều hòa và áp suất không đổi p là tương đồng, về mặt giá trị thì chuyển vị lớn nhất w_{Max} của ống composite trong trường hợp áp suất là hàm điều hòa lớn hơn trường hợp áp suất không đổi là 1,22 lần, ứng suất pháp lớn nhất lớn hơn 1,135 lần (σ_y^{Max}). Giá trị lớn hơn trong trường hợp áp suất là hàm điều hòa có thể là do hiện tượng cộng hưởng xảy ra khi tần số dao động riêng trùng với tần số của hàm áp suất điều hòa.

Trường hợp 2: Áp suất di động là hằng số.



Hình 3.49. Quan hệ w_{Max} và tải trọng



Hình 3.50. Quan hệ σ_y^{Max} và tải trọng

Nhận xét:

Khi tăng tải trọng từ 2.10^5 đến 12.10^5 N/m^2 , thì chuyển vị hướng kính và ứng suất pháp tăng phi tuyến. Chuyển vị hướng kính w_{Max} tăng 5,85 lần; ứng suất pháp σ_y^{Max} tăng 2,12 lần. So sánh với trường hợp ống composite đặt trong nền đàn hồi (hệ số nền $k_0 = 9.10^6$ N/m^3), thì đáp ứng động lực học của ống composite trên gối cứng là lớn hơn. Do vậy tải trọng có ảnh hưởng lớn đến đáp ứng động lực học của kết cấu ống composite.

Kết luận chương 3

- Khảo sát số trên nhiều lớp bài toán để xem xét sự ảnh hưởng về đáp ứng động lực học của ống trụ composite trong nền đàn hồi và gối cứng chịu tác dụng của áp suất di động. Ta nhận thấy các thông số: số lớp ống, chiều dài ống, góc đặt cốt, độ cứng nền, vận tốc áp suất di động và tải trọng đã ảnh hưởng đáng kể đến đáp ứng chuyển vị, biến dạng và ứng suất trong ống composite.

- Để tăng khả năng ổn định cho ống trụ composite, tùy theo mục đích và yêu cầu sử dụng mà ta có thể tính toán, điều chỉnh các thông số hình học, vật liệu ống và các tham số tải trọng để lựa chọn được các phương án hợp lý áp dụng cho các công trình ống dẫn trong nền và trên các liên kết truyền thống phục vụ các lĩnh vực kỹ thuật thực tiễn.

CHƯƠNG 4
NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM

Để kiểm chứng sự phù hợp của phương pháp lý thuyết và chương trình tính đã lập, trong chương này tác giả thiết lập và triển khai thí nghiệm trên mô hình ống composite chịu tác dụng của áp suất chất lỏng di động. Tuy nhiên để có sự hợp lý hơn giữa 2 bài toán tải trọng áp suất chất khí và áp suất chất lỏng, tác giả đưa ra với các giả thiết sau:

- Chất lỏng chảy trong ống là chất lỏng lý tưởng (Chất lỏng chảy ổn định, không tồn tại nội ma sát trong lòng chất lỏng, độ nhớt bằng 0).
- Bỏ qua khối lượng của chất lỏng chảy trong ống.
- Điều kiện thí nghiệm ở nhiệt độ môi trường bình thường.

4.1. Mục đích thí nghiệm

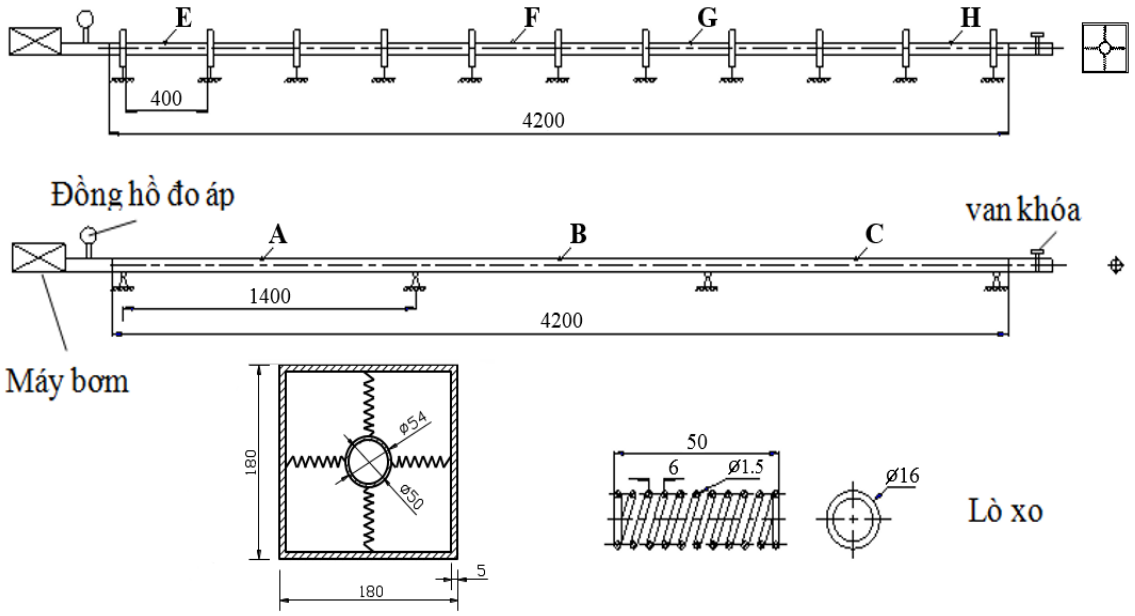
So sánh, đối chứng và làm cơ sở đánh giá thuật toán và chương trình tính đã được xây dựng trong chương 2.

4.2. Nội dung thí nghiệm

Xác định đáp ứng động của ống composite chịu áp suất chất lỏng di động do bơm cao áp tạo ra, trong đó tập trung vào biến dạng, chuyển vị và gia tốc của điểm cần đo thuộc ống.

4.3. Mô hình thí nghiệm

Mô hình thí nghiệm được thiết kế, chế tạo là ống composite gồm 4 lớp có trật tự xếp lớp $45^0/-45^0/45^0/-45^0$, vật liệu chế tạo là cốt sợi thủy tinh, nền nhựa Epoxy; chiều dài L= 4200mm, đường kính trong d = 50mm, chiều dày h = 4mm. Ống được đặt trên liên kết cứng và liên kết đàn hồi.



Hình 4.1. Mô hình thí nghiệm ống composite đặt trên gối cứng và gối đàn hồi

Việc xác định độ cứng lo xo đàn hồi được thực hiện tại Phòng thí nghiệm Cơ học - Bộ môn Cơ học vật rắn, Học viện Kỹ thuật Quân sự.

Kết quả ta xác định được độ cứng của lò xo là k = 5000 N/mm.

Các thành phần cơ tính vật liệu của từng lớp composite được cho bởi nhà cung cấp, theo đó với vật liệu mẫu là cốt sợi thủy tinh, nền nhựa Epoxy, các giá trị được cho trong bảng sau:

Bảng 4.1. Thành phần cơ tính của lớp vật liệu composite

$E_1[N/m^2]$	$E_2[N/m^2]$	$G_{12}[N/m^2]$	υ_{12}	$\rho[kg/m^3]$
$150{,}17.\ 10^9$	$11{,}34.\ 10^9$	$5{,}67.\ 10^9$	0,26	2119,69

4.4. Thí nghiệm và kết quả đạt được

4.4.1. Nội dung thí nghiệm

Mô hình thí nghiệm được gá chặt tương ứng liên kết trên gối cứng và đàn hồi, đảm bảo mô hình ổn định vị trí trong quá trình thí nghiệm. Lắp đặt thiết bị đo gia tốc, đo biến dạng tại các điểm đo tương ứng trên ống.

Hình 4.2. Tiến hành đo đạc và lưu kết quả

Tiến hành thí nghiệm đo đáp ứng động (đo biến dạng và gia tốc) của ống composite đặt trên liên kết cứng và liên kết đàn hồi, với các trường hợp áp lực trong ống khác nhau.

Tại một điểm đo, để xác định bộ số liệu đáp ứng gia tốc hoặc biến dạng theo thời gian, tác giả tiến hành đo 25 lần (n = 25), chọn ra 15 lần đo có kết quả hội tụ. Bộ số liệu đo được thu thập, phân tích và xử lý thống kê, cuối cùng ta sẽ có được đáp ứng biến dạng, gia tốc, vận tốc và chuyển vị theo thời gian tại các điểm đo là trung bình cộng của 15 lần.

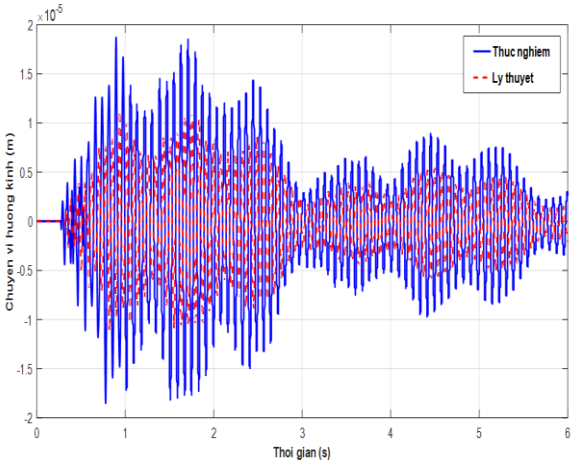
4.4.2.Kết quả thí nghiệm đạt được

- ***Thử nghiệm trên kết cấu ống composite đặt trên gối cứng chịu tải trọng di động***

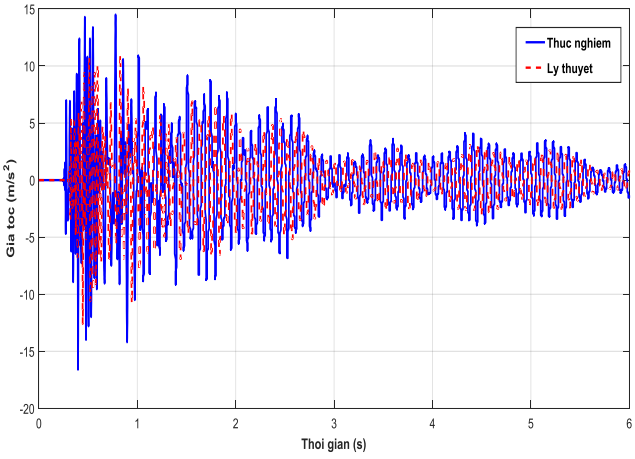
Bảng 4.2. Đáp ứng động lực học lớn nhất của kết cấu đặt trên gối cứng

	Điểm đo	Thực nghiệm	Lý thuyết	Sai số [%]
Chuyển vị hướng kính	A(m)	$1,45.10^{-5}$	$1,12.10^{-5}$	22,5
	B(m)	$2,2.10^{-5}$	$1,61.10^{-5}$	26,6
	C(m)	$1,84.10^{-5}$	$1,39.10^{-5}$	24,2
Gia tốc	A(m/s^2)	17,53	13,55	22,7
	B (m/s^2)	24,20	17,54	27,5
	C (m/s^2)	19,76	14,58	26,2
Biến dạng dọc trục	A	$3,89.10^{-8}$	$2,92.\ 10^{-8}$	24,9
	B	$5,0.10^{-8}$	$3,68.\ 10^{-8}$	26,4
	C	$4,24.10^{-8}$	$3,14.\ 10^{-8}$	25,8

- ***Thử nghiệm trên kết cấu ống composite đặt trên gối đàn hồi chịu tải trọng di động***



Hình 4.3. Đáp ứng chuyển vị – thời gian tại điểm F của ống composite



Hình 4.4. Đáp ứng gia tốc – thời gian tại điểm F của ống composite

Nhận xét:

Với kết quả thể hiện trên bảng 4.2 và đồ thị 4.3, 4.4 ta thấy đáp ứng chuyển vị, gia tốc, biến dạng theo thời gian tại các điểm đo từ kết qủa thực nghiệm và lý thuyết là khá tương đồng về quy luật, sai số giữa thực nghiệm và lý thuyết khá lớn. Nguyên nhân thứ nhất là có thể là trong phần thực nghiệm thì sự gá lắp của ống trên các liên kết gốicứng và gối đàn hồi chưa đảm bảo độ cứng vững, trong khi tính toán lý thuyết thì mô hình ống trên các liên kết được coi như lý tưởng. Nguyên nhân thứ hai là do trong phần lý thuyết, khi tính toán tải trọng dạng áp suất di động không xét đến khối lượng tải trọng, còn trong phần thực nghiệm tải trọng là áp suất chất lỏng di động, nên với khối lượng của chất lỏng đã làm tăng các giá trị chuyển vị, gia tốc và biến dạng của ống composite.

Tuy nhiên, với điều kiện các thiết bị thí nghiệm vẫn còn hạn chế, sai số là không thể tránh khỏi, do vậy theo tác giả kết quả so sánh thí nghiệm và tính toán lý thuyết là có thể chấp nhận được.

Kết luận chương 4

- Đã xây dựng mô hình thực nghiệm ống composite đặt trên liên kết cứng và liên kết đàn hồi chịu tác dụng của tải trọng dạng áp suất chất lỏng di động.

- Tiến hành thí nghiệm đo đáp ứng động với các trường hợp áp lực trong ống khác nhau cho kết quả đường đáp ứng động lực học có dạng tương đồng với phương pháp lý thuyết. Chứng tỏ tiến trình thí nghiệm mà tác giả xây dựng và chương trình khảo sát số bằng phương pháp lý thuyết đảm bảo độ tin cậy.

- Kết quả so sánh giữa thực nghiệm và lý thuyết có thể sử dụng trực tiếp mô hình thí nghiệm mà tác giả xây dựng để đưa ra các kết quả ban đầu cho đáp ứng động lực học của ống tại các vị trí đo khác nhau.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. Những đóng góp mới của luận án:

- Xây dựng hệ phương trình vi phân dao động phi tuyến của phần tử vỏ cong trong nền đàn hồi, chịu tác dụng của áp suất di động, trong đó áp suất phân bố trên diện tích phần tử vỏ thay đổi theo thời gian. Tập hợp ma trận, vectơ tải tổng thể từ các ma trận và vectơ tải trọng phần tử, thiết lập được phương trình vi phân dao động phi tuyến của ống trụ composite trong nền đàn hồi chịu tác dụng của áp suất di động dọc trong ống.

- Sử dụng phương pháp PTHH, xây dựng thuật toán giải và viết chương trình máy tính trên nền Matlab phân tích phi tuyến động lực học ống trụ composite lớp đặt trong nền đàn hồi và trên liên kết cứng chịu tác dụng của áp suất di động.

- Khảo sát số xem xét ảnh hưởng của một số yếu tố như: kích thước hình học, vật liệu ống, vận tốc áp suất di động, tải trọng và liên kết… đến đáp ứng động lực học của ống trụ composite lớp. Từ đó giúp cho việc lựa chọn giải pháp, khuyến cáo hợp lý cho ống composite lớp chịu tác dụng của áp suất di động, ứng dụng trong kỹ thuật như: ống dẫn chất lỏng, chất khí, nòng súng, nòng pháo,…

- Tiến hành thực nghiệm trên mô hình để có được các số liệu làm cơ sở kiểm chứng kết quả tính toán bằng phương pháp PTHH. Kết quả thí nghiệm đo đáp ứng động lực học có dạng tương đồng với phương pháp lý thuyết, sai số trong phạm vi chấp nhận được,chứng tỏ tiến trình thí nghiệm và chương trình khảo sát số mà tác giả xây dựng đảm bảo độ tin cậy.

2. Nhận xét và kiến nghị:

Qua nghiên cứu và các kết quả đạt được trong luận án, tác giả đưa ra một số nhận xét và kiến nghị sau:

Ảnh hưởng của kích thước hình học, vật liệu ống composite, thay đổi tải trọng, vận tốc áp suất di động và việc sử dụng nền đàn hồi hay gối cứng đến phản ứng động lực học của ống trụ composite là khá lớn. Vì vậy trong thiết kế chế tạo có thể lựa chọn hợp lý số lớp, chiều dài của ống composite, phương án thiết kế nền và gối phù hợp nhằm tăng sức kháng lực cho ống composite. Trong khai thác, sử dụng cần hạn chế tối đa sự thay đổi tốc độ của áp suất di động hay tải trọng trong ống composite.