

XÂY DỰNG CHƯƠNG TRÌNH CHUYỂN ĐỔI TÍN HIỆU ĐO DAO ĐỘNG NHẪM XÁC ĐỊNH “THOÁT KHÔNG” CỦA TẤM BÊ TÔNG TRÊN NỀN ĐÀN HỒI

Lê Thu Mai, Hồng Tiến Thắng

Trường Đại học Thủy lợi

Tóm tắt: Nghiên cứu này tiến hành xây dựng chương trình chuyển đổi tín hiệu đo gia tốc theo thời gian sang miền tần số. Qua phân tích tần số dao động của tấm bê tông trên nền đàn hồi có thể xác định hiện tượng “thoát không” của tấm bê tông (khoảng trống xuất hiện dưới tấm bê tông khi tấm bê tông được đặt trên nền đất). Chương trình được xây dựng với giao diện thân thiện, dễ sử dụng, đạt độ chính xác cao. Các hàm số chuyển đổi được xây dựng dựa trên ngôn ngữ lập trình MATLAB. Dữ liệu đầu vào chương trình là số liệu gia tốc theo thời gian từ thí nghiệm thực tế hay lấy từ kết quả phân tích dao động trên mô hình số. Dữ liệu đầu ra của chương trình là biên độ gia tốc theo tần số dao động. Các nghiên cứu đã được tiến hành trước đó bởi các nhà khoa học chỉ ra rằng tại các tấm có “thoát không”, tần số dao động riêng thường nhỏ hơn các tấm không có “thoát không”. Tại vị trí có “thoát không”, tần số dao động riêng cũng nhỏ hơn giá trị tần số tại các vị trí không có “thoát không”. Từ kết quả chuyển đổi dao động sang dạng tần số của chương trình, các tấm có “thoát không” và vị trí có “thoát không” dễ dàng được xác định. Chương trình được xây dựng tạo điều kiện thuận lợi giúp việc chuyển đổi tín hiệu dao động sang miền tần số được thực hiện nhanh chóng từ đó giúp ích cho việc xác định vị trí “thoát không” của tấm bê tông trên nền đàn hồi nhanh hơn và chính xác hơn.

Từ khóa: Tần số dao động riêng, biến đổi Fourier, hiện tượng “thoát không”.

Summary: This study builds a program to convert time-based acceleration measurement signals to the frequency domain. Through analyzing the vibration frequency of the concrete slab on an elastic foundation, it is possible to determine the “face slab dispatch” of the concrete slab (the space that appears under the concrete slab when the concrete slab is placed on the ground). The program is built with a friendly interface, easy to use, and achieves high accuracy. The conversion functions are built based on the MATLAB programming language. Program input data are acceleration data over time from actual experiments or taken from vibration analysis results on numerical models. The output data of the program is the acceleration amplitude according to the oscillation frequency. Studies previously conducted by scientists have shown that in panels with “face slab dispatch”, the natural oscillation frequency is often smaller than panels without “face slab dispatch”. At the position with “face slab dispatch”, the natural oscillation frequency is also smaller than the frequency value at the position without “face slab dispatch”. From the results of converting the vibration to the frequency form of the program, the panels that have “face slab dispatch” and the position of “face slab dispatch” can easily be determined. The program was built to facilitate the conversion of vibration signals into the frequency domain quickly, thereby helping to determine the “face slab dispatch” position of concrete slabs on an elastic foundation faster and more accurate.

Keyword: Natural oscillation frequency, Fourier transform, “face slab dispatch” phenomenon.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

“Thoát không” là hiện tượng mất lớp tiếp xúc giữa bản mặt bê tông và lớp đệm, thường xảy ra ở các công trình có tấm bê tông đặt trên nền đàn hồi như nền đất. Kích thước của hiện tượng này thường tăng theo thời gian, gây

nguy hiểm cho công trình. Dưới tác dụng của tải trọng trên bản mặt bê tông, vị trí “thoát không” thường xuất hiện ứng suất kéo, gây nứt bê tông phía dưới tấm bê tông bản mặt. Khi kích thước “thoát không” đủ lớn, tải trọng tác dụng có thể gây nứt gãy tấm bê tông bản mặt. Hiện nay, trên thế giới, phương pháp phổ biến để xác định hiện tượng “thoát không” là sử dụng Ra đa xuyên đất [1]. Tuy nhiên, phương pháp này gặp khó khăn trong việc xác định

Ngày nhận bài: 06/6/2024

Ngày thông qua phản biện: 08/7/2024

Ngày duyệt đăng: 05/8/2024

chiều dày của lớp "thoát không" [2]. Một số nhà khoa học đã sử dụng phương pháp phân tích dao động để xác định hiện tượng này [3]. Nội dung của phương pháp này là sử dụng tải trọng kích động (gõ búa) tại một vị trí cụ thể và sử dụng đầu đo gia tốc để ghi lại phản ứng gia tốc tại các vị trí xung quanh điểm kích động theo thời gian. Sự thay đổi gia tốc theo thời gian sau đó được chuyển đổi thành gia tốc theo tần số nhằm xác định dao động riêng ứng với dao động đầu tiên của tấm. Sự thay đổi của tần số tại các vị trí khác nhau sẽ được sử dụng để xác định vị trí "thoát không". Phương pháp phân tích dao động để tìm ra "thoát không" đã đạt được một số kết quả khả quan dựa trên các nghiên cứu thí nghiệm và mô hình số [4, 5]. Trong quá trình xác định "thoát không" theo phương pháp này, việc chuyển đổi tín hiệu đo dao động từ dạng gia tốc theo thời gian sang dạng biên độ gia tốc theo tần số thường gặp nhiều khó khăn và tốn thời gian. Vì vậy, việc xây dựng một chương trình chuyển đổi tín hiệu đo gia tốc từ miền thời gian sang miền tần số là cần thiết. Chương trình này sẽ giúp quá trình chuyển đổi tín hiệu diễn ra nhanh chóng, thuận lợi và đạt độ chính xác cao, từ đó giúp việc xác định "thoát không" của tấm bê tông trở nên dễ dàng và nhanh chóng hơn.

Trong nghiên cứu này chúng tôi xây dựng chương trình chuyển đổi tín hiệu đo gia tốc theo thời gian của tấm bê tông trên nền đàn hồi sang dạng biên độ gia tốc theo tần số. Chương trình được lập trình thông qua phần mềm MATLAB, các thuật toán đều dựa trên biến đổi Fourier để chuyển tín hiệu đo gia tốc về miền tần số. Chương trình được tạo ra là công cụ quan trọng trong các nghiên cứu "thoát không" hay các nghiên cứu khác sử dụng lực gõ tạo dao động lên tấm bê tông.

2. MỘT SỐ KHÁI NIỆM CƠ BẢN

2.1. Phát hiện "thoát không" bằng phân tích dao động riêng của tấm bê tông

Một số nhà nghiên cứu trong và ngoài nước đã sử dụng phương pháp phân tích dao động để xác định "thoát không" [4, 5]. Nội dung của phương pháp này như sau:

1) **Tạo dao động cho tấm bê tông**: Tấm bê tông được tạo dao động bằng cách dùng búa gõ lên bề mặt tấm. Đầu đo gia tốc được sử dụng để ghi lại phản ứng gia tốc tại các vị trí xung quanh.

2) **Biến đổi Fourier**: Kết quả đo gia tốc theo thời gian được chuyển đổi sang biên độ gia tốc theo tần số bằng biến đổi Fourier, nhằm xác định tần số dao động riêng ứng với dạng dao động riêng đầu tiên của tấm.

3) **Xác định vị trí "thoát không"**: Sự thay đổi của tần số ở bước trên được sử dụng để xác định vị trí "thoát không". Vị trí "thoát không" thường là các vị trí có tần số dao động riêng nhỏ hơn tần số dao động riêng của tấm ở các vị trí khác. Tấm có nhiều "thoát không" sẽ có tần số dao động riêng nhỏ hơn so với tấm có ít hoặc không có "thoát không".

2.2. Chuyển đổi tín hiệu đo gia tốc sang dạng tần số

Tín hiệu đo gia tốc thu được từ các thiết bị đo gia tốc khi dùng búa gõ tác dụng lên bề mặt bê tông nhằm xác định "thoát không" thường ở dạng gia tốc theo thời gian. Dạng tín hiệu gia tốc theo thời gian thường khó nhận biết được các dạng dao động riêng của tấm bê tông hay kết cấu chịu tải trọng động. Nếu tín hiệu gia tốc theo thời gian được chuyển đổi sang dạng biên độ gia tốc theo tần số thì các dạng dao động riêng của kết cấu có thể được nhận biết ở những tần số có biên độ dao động lớn. Các nghiên cứu trước đây chỉ ra rằng một tấm bê tông có "thoát không" thì tần số dao động riêng của tấm sẽ nhỏ hơn tấm bê tông không có "thoát không". Tại vị trí có "thoát không", tần số dao động riêng của tấm bê tông cũng nhỏ hơn các vị trí không có "thoát không".

Việc thực hiện chuyển đổi tín hiệu đo gia tốc theo thời gian sang dạng biên độ gia tốc theo tần số có thể được thực hiện bằng phép biến đổi Fourier. Biến đổi Fourier là một phép biến đổi toán học dùng để chuyển đổi tín hiệu đo gia tốc từ miền thời gian sang miền tần số và ngược lại. Biến đổi này được đề xuất bởi nhà toán học người Pháp Jean – Baptiste Joseph Fourier từ đầu thế kỷ 19. Biến đổi Fourier đã

được ứng dụng vào nhiều ngành khoa học kỹ thuật như xử lý tín hiệu, RADAR, v.v.

3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

3.1. Dùng biến đổi Fourier chuyển tín hiệu gia tốc

Biến đổi Fourier được nhà khoa học người Pháp Jean-Baptiste Joseph Fourier giới thiệu vào đầu thế kỷ 19. Biến đổi Fourier là một quá trình phân tích, phân tách hàm có giá trị phức $X(F)$ thành các tần số cấu thành và biên độ của chúng. Quá trình nghịch đảo là tổng hợp, tái tạo $X(F)$ từ phép biến đổi của nó. Với biến đổi Fourier cho hàm thời gian không liên tục, phương trình sau (1) có thể được sử dụng để chuyển từ miền thời gian sang miền tần số [6]:

$$X[F] = \sum_{n=0}^{N-1} x[t]e^{-2\pi jFt/N} \quad (1)$$

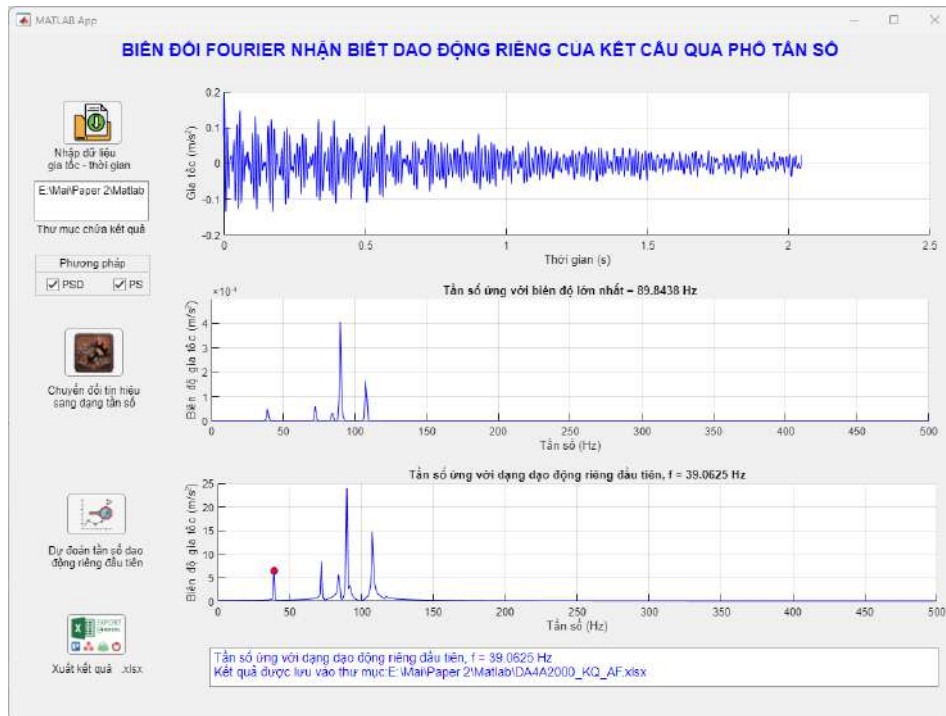
Trong đó: $X[F]$ là lượng tần số F trong tín hiệu (biên độ và pha, $X[F]$ là một số phức); $x[t]$ là giá trị của tín hiệu theo thời gian tại thời điểm t ; N là số điểm lấy mẫu. Kết quả biến đổi Fourier cho ta phổ tần số (frequency spectrum), phổ tần số đạt giá trị cực trị tại các tần số dao động riêng của hệ.

Trong MATLAB thường dùng hàm chuyển

đổi nhanh Fourier (Fast Fourier Transform, FFT). Đây là hàm số sử dụng thuật toán tối ưu quá trình chuyển đổi như đã nêu ở công thức (1) với số lượng điểm tính toán được giảm nhưng vẫn đảm bảo độ chính xác.

3.2. Tạo giao diện chương trình chuyển đổi tín hiệu

Giao diện chương trình chuyển đổi tín hiệu được tạo thông qua trình thiết kế giao diện của MATLAB (MATLAB App Designer). Đây là chương trình hỗ trợ việc tạo giao diện một cách nhanh chóng và hỗ trợ và gán các câu lệnh cho các đối tượng trên giao diện. Hình 1 thể hiện giao diện của chương trình chuyển đổi với các chức năng như: nhập dữ liệu gia tốc theo thời gian như dữ liệu đầu vào (từ file Excel); vẽ quan hệ gia tốc theo thời gian; thực hiện tính toán chuyển đổi tín hiệu theo hai dạng là phân phối mật độ phổ gia tốc (Power Spectrum Density - PSD) và mật độ phổ gia tốc (Power Density - PD) [7]; vẽ quan hệ tần số và biên độ gia tốc; dự đoán tần số ứng với dạng dao động riêng đầu tiên của kết cấu; xuất kết quả biên độ gia tốc theo tần số dạng bảng (file Excel); xuất kết quả dạng hình ảnh các biểu đồ quan hệ.

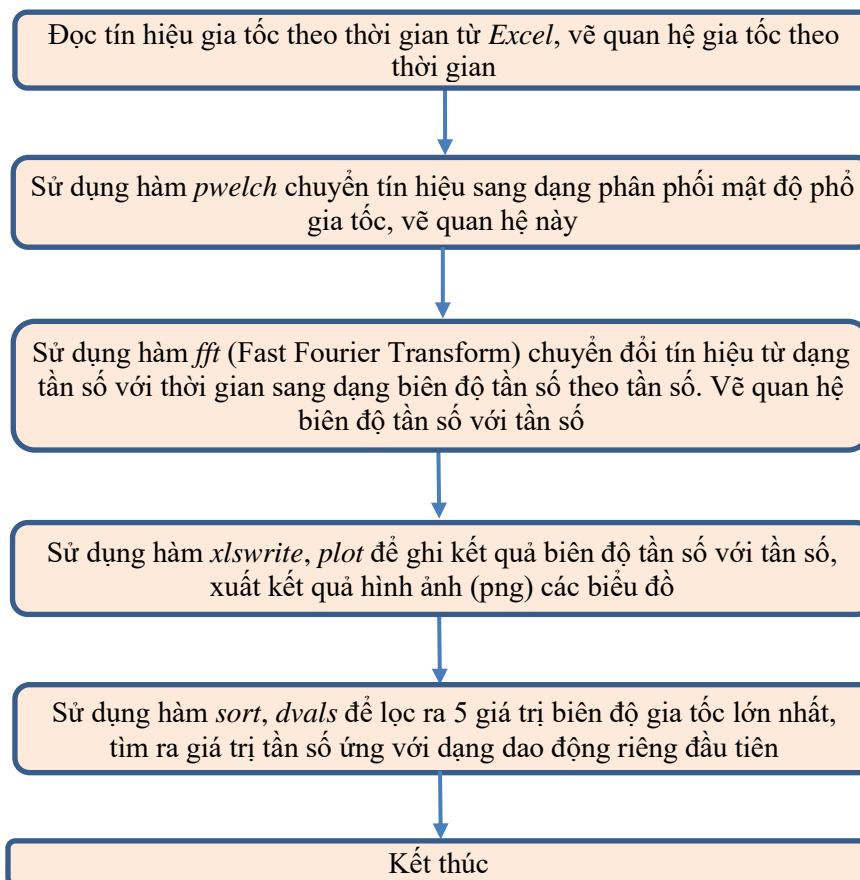


Hình 1: Chương trình chuyển đổi tín hiệu sang dạng biên độ gia tốc và tần số

3.3. Sơ đồ thực hiện chương trình chuyển đổi tín hiệu

Hình 2 thể hiện sơ đồ chương trình chuyển đổi tín hiệu từ miền gia tốc theo thời gian sang quan hệ biên độ gia tốc theo tần số. Dữ liệu gia tốc với thời gian được đưa vào chương trình dưới dạng bảng (Excel file). Sử dụng các hàm đọc dữ liệu để lấy được số liệu gia tốc theo thời gian. Bước tiếp theo chương trình sử dụng hàm *plot* để vẽ quan hệ gia tốc theo thời gian. Hàm *pwelch* được sử dụng ở bước tiếp theo để chuyển đổi tín hiệu gia tốc theo thời gian sang dạng phân phối mật độ phổ gia tốc (Power Spectrum Density - PSD).

Phân phối mật độ phổ gia tốc được vẽ trên giao diện chương trình. Ở bước tiếp theo, chương trình sử dụng hàm *fft* (Fast Fourier Transform) để chuyển đổi tín hiệu đo gia tốc sang dạng biên độ tần số và tần số (Power Spectrum – PS) [7]. Các hàm số *sort*, *dval* được sử dụng để lọc ra năm giá trị biên độ tần số lớn nhất và các giá trị tần số tương ứng. Từ đó tìm ra được giá trị tần số ứng với dạng dao động riêng đầu tiên. Ở bước cuối, chương trình sử dụng các hàm số *xlswrite*, *plot* để xuất kết quả chuyển đổi ra bảng tính Excel và các quan hệ được vẽ và lưu dưới dạng hình ảnh (png).



Hình 2: Sơ đồ hoạt động chương trình chuyển đổi tín hiệu sang dạng tần số

4. TRƯỜNG HỢP NGHIÊN CỨU ÁP DỤNG

4.1. Xác định mức độ “thoát không” của tấm bê tông trên nền đàn hồi

Ở phần này, chương trình được xây dựng ở trên được sử dụng trong việc xác định hiện

tượng “thoát không” của các tấm bê tông đặt trên nền đàn hồi. Các nghiên cứu trước đây đã chỉ ra rằng, với các tấm bê tông đặt trên nền đàn hồi mà bên dưới có “thoát không” sẽ có tần số dao động riêng đầu tiên nhỏ hơn các tấm bê tông cùng điều kiện làm việc mà không có “thoát không”. Tại các vị trí có “thoát

không” trên tấm bê tông thì tần số dao động riêng cũng nhỏ hơn các vị trí không có “thoát không” [4, 5].

Tấm bê tông sử dụng trong thí nghiệm của nghiên cứu [5] được sử dụng trong nghiên cứu này. Trong thí nghiệm đó, tấm bê tông với các kích thước dài, rộng, cao lần lượt là 2012, 500, 50 mm được đặt trên nền đàn hồi. Tấm bê tông được tạo dao động bằng cách sử dụng búa kích động lên bề mặt tấm bê tông theo phương thẳng đứng. Các đầu đo gia tốc được gắn vào các vị trí gần vị trí kích động để đo lại sự thay đổi gia tốc theo thời gian của tấm trong quá trình dao động. Hình ảnh thí nghiệm của nghiên cứu [5] được thể hiện trên Hình 3. Tấm

bê tông được thí nghiệm với ba trường hợp: không có “thoát không”; “thoát không” trung bình và “thoát không” nhiều. Trong nghiên cứu nêu trên các tác giả đã dùng cách chuyển đổi thông qua các tính toán trên bảng tính Excel. Việc này tốn nhiều thời gian và công sức và đôi khi không chính xác do phụ thuộc người tính.

Trong nghiên cứu này, chương trình đã được xây dựng được sử dụng để chuyển đổi các tín hiệu đo gia tốc theo thời gian sang dạng biên độ gia tốc và tần số. Các kết quả chuyển đổi được thể hiện trong Bảng 1 trong trường hợp tấm có diện tích “thoát không” trung bình.



Hình 3: Thí nghiệm xác định “thoát không” của nghiên cứu [5]

4.2. Kết quả xác định “thoát không”

Các kết quả chuyển đổi tín hiệu từ quan hệ gia tốc theo thời gian sang quan hệ gia tốc theo tần số được thể hiện trên Bảng 1 (kết quả theo chương trình chuyển đổi/kết quả của [5]). Các kết quả từ chương trình vừa được tạo trùng khớp tốt với các kết quả của nghiên cứu [5]. Tại các vị trí có “thoát không” và lân cận các

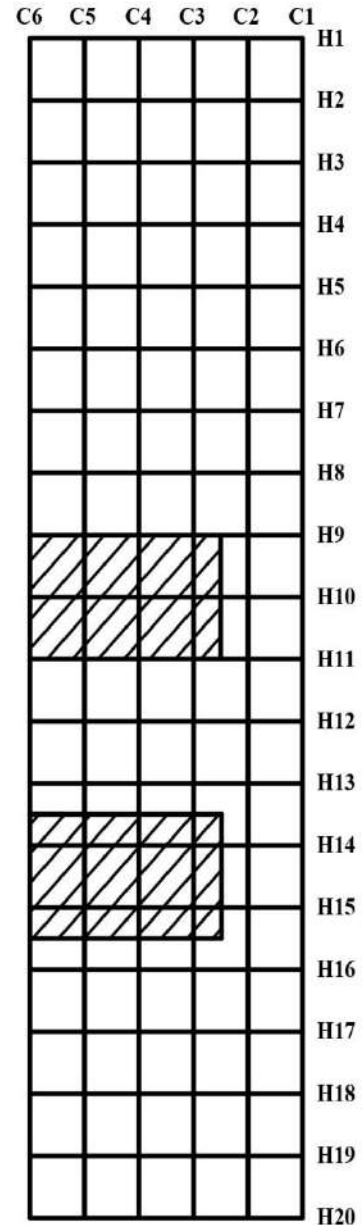
vị trí này, tần số dao động riêng của tấm nhỏ hơn các vị trí không có “thoát không”. Đó là dấu hiệu và là cơ sở trong nghiên cứu xác định “thoát không” bằng lực gõ. Việc sử dụng chương trình chuyển đổi tín hiệu đã rút ngắn được nhiều thời gian tính toán chuyển đổi, giúp quá trình dự đoán “thoát không” diễn ra nhanh hơn và hiệu quả hơn. Chương trình

chuyển đổi tín hiệu này cũng có thể áp dụng cho các kết quả phân tích dao động trên mô hình số (lấy gia tốc trên mô hình số, chuyển

sang dạng tần số). Việc này giúp hỗ trợ các nhà khoa học trong việc xác định “thoát không” thông qua mô hình số.

Bảng 1: Tần số dao động riêng đầu tiên trường hợp “thoát không” diện tích trung bình (Hz)

C6	C5	C4	C3	C2	C1	
42,735/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	H1
42,735/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	H2
42,735/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	H3
42,735/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	H4
42,735/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	H5
42,735/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	H6
42,735/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	H7
41,515/41,514	41,515/41,514	42,624/42,735	42,624/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	H8
41,514/41,514	41,514/41,514	41,514/42,735	42,624/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	H9
40,293/40,293	40,293/40,293	40,293/40,293	42,624/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	H10
41,514/41,514	41,514/41,514	41,514/41,514	42,624/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	H11
42,735/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	H12
42,735/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	H13
40,293/40,293	40,293/40,293	40,293/40,293	42,624/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	H14
40,293/40,293	40,293/40,293	40,293/40,293	42,624/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	H15
41,514/41,514	41,514/41,514	41,514/41,514	42,624/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	H16
42,735/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	H17
42,735/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	H18
42,735/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	H19
42,735/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	42,735/42,735	H20



5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã phát triển một chương trình chuyển đổi tín hiệu gia tốc theo thời gian sang dạng biên độ gia tốc theo tần số. Chương trình được lập trình dựa trên ngôn ngữ lập trình MATLAB nhằm tận dụng nhiều hàm số chuyển đổi có sẵn trong MATLAB. Chương trình được thành lập có thể áp dụng giúp hỗ trợ

nhiều dạng kết cấu chịu dao động, đặc biệt hỗ trợ tốt trong bài toán phát hiện “thoát không” bằng dao động. Dựa trên kết quả nghiên cứu chúng tôi có một số kết luận như sau:

1. Chương trình được thành lập có giao diện thân thiện, tiện lợi trong việc chuyển đổi tín hiệu từ gia tốc theo thời gian sang dạng biên độ tần số theo thời gian. Các kết quả được thể

hiện trực quan trên màn hình đồ họa. Các kết quả cũng có thể xuất ra dưới dạng bảng tính (Excel) và hình ảnh các biểu đồ quan hệ.

2. Chương trình có thể dự đoán tần số ứng với dạng dao động riêng đầu tiên. Từ đó giúp hỗ trợ việc xác định “thoát không” của các tấm bê

tông trên nền đàn hồi được thuận lợi, chính xác và nhanh chóng.

3. Chương trình cũng có thể chuyển đổi tín hiệu từ gia tốc theo thời gian sang dạng biên độ tần số theo thời gian từ các kết quả phân tích dao động trên mô hình số.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Annan A.P, Sensor & Software Inc., *Ground Penetrating Radar Workshop Note*, 1992.
- [2] Đỗ Anh Chung, Nguyễn Văn Lợi, Vũ Đức Minh, “Áp dụng phương pháp Rada đất để xác định “thoát không” dưới bê tông bản mặt đập Cửa Đạt”, Tạp chí Khoa học HQGHN, Khoa học Tự nhiên và Công nghệ, Tập 29, Số 4, 2013, tr 8-15.
- [3] Nguyễn Thái Hoàng, Nguyễn Công Thắng, Nguyễn Cảnh Thái, “Nghiên cứu ảnh hưởng của “thoát không” đến dao động của tấm bê tông bản mặt”, Tạp chí Khoa Học Kỹ Thuật Thủy Lợi Môi Trường, Số 69, 2020, tr, 79-85.
- [4] Nguyễn Thái Hoàng, Nguyễn Công Thắng, “Mô phỏng phương pháp thực nghiệm xác định “thoát không” dưới tấm bê tông bản mặt bằng mô hình số”, Tạp chí Khoa học kỹ thuật Thủy lợi Môi trường, Số 74, 2021, tr, 76-83.
- [5] Nguyễn Thái Hoàng, Nguyễn Công Thắng, “Thực nghiệm mô hình vật lý hoàn thiện phương pháp xác định “thoát không” dưới tấm bê tông bản mặt”, Tạp chí Khoa học kỹ thuật Thủy lợi Môi trường, Số 84, 2023, tr, 01-10.
- [6] Bracewell, Ronald N. "The fourier transform". Scientific American 260.6 (1989): 86-95.
- [7] Huang, Wanjun, and Duncan L. MacFarlane. "Fast fourier transform and matlab implementation". The University of Texas at Dallas. Dr. Duncan L. MacFarlane. Web 24 (2016).