

TỐI ƯU HÓA ĐỘ BỀN CỦA KHUNG XE BUÝT B45 BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN

DURABILITY OPTIMIZATION OF BUS BODY FRAME B45 BY FINITE ELEMENT METHOD

Tào Quang Bằng¹, Đặng Minh Hải²

¹Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng; tqbang@dut.udn.vn

²Công ty Cổ phần LHD Bình Sơn; haidm@bsr.com.vn

Tóm tắt - Vận tải hành khách công cộng (VTHKCC) bằng xe buýt được coi là phương thức vận tải hành khách phổ biến nhất hiện nay trên thế giới. VTHKCC bằng xe buýt thích ứng với tất cả các loại đô thị khác nhau, có tính cơ động cao, ít cản trở, hòa nhập với các loại hình vận tải giao thông đường bộ khác, khai thác, điều hành đơn giản, và thuận lợi. Ứng dụng các phần mềm phần tử hữu hạn giúp tối ưu hóa quá trình thiết kế và sản xuất, cung cấp giải pháp toàn diện nhất mở ra giải pháp CAE trong nền công nghiệp, bao gồm cả mô phỏng, phân tích, quản lý dữ liệu, tối ưu hóa cấu trúc, đảm bảo độ bền, mang lại giá trị kinh tế cho nhà sản xuất cũng như người tiêu dùng. Trong bài báo này, phần mềm phần tử hữu hạn (PTHH) HyperWorks được sử dụng để tính toán tối ưu hóa độ bền khung xe buýt B45 góp phần nâng cao độ bền, tuổi thọ, tiết kiệm vật liệu mà vẫn đảm bảo chất lượng, sự an toàn của xe buýt.

Từ khóa - tối ưu hóa khung xe; khung xương xe buýt; HyperWorks; phương pháp phần tử hữu hạn; mô phỏng PTHH.

1. Đặt vấn đề

VTHKCC bằng xe buýt ở nước ta hiện nay nói chung cũng như các thành phố lớn nói riêng đang mang lại nhiều yếu tố tích cực, góp phần giảm ùn tắc giao thông, giảm thiểu ô nhiễm môi trường và giảm tiếng ồn gây nên bởi các phương tiện cá nhân. Vì thế ngày càng nhiều xe buýt được sử dụng trong các thành phố ở nước ta hiện nay [1]. Để tăng độ an toàn, tính tiện nghi và độ tin cậy, các nhà sản xuất đã và đang tập trung vào việc đầu tư nghiên cứu, tính toán tối ưu nhằm không ngừng cải tiến sản phẩm. Hiện tại, có nhiều cách thực hiện để đạt được những mục tiêu trên như giảm thiểu khối lượng khung xương thông qua việc bố trí kết cấu khung xương, thay thế vật liệu thép bằng vật liệu nhẹ hơn như nhôm, hoặc thay đổi chiều dày tiết diện mặt cắt ngang các thanh trên khung xương [2]. Để thực hiện các cách trên, một vài nhóm tác giả đã nghiên cứu sử dụng các phần mềm phần tử hữu hạn trong việc tính toán khung xe buýt. Tuy nhiên, việc tính toán này vẫn chưa mang lại hiệu quả một cách đáng kể và tất cả chúng chưa hoàn toàn phù hợp để áp dụng đồng thời cho toàn bộ phương án thiết kế của một doanh nghiệp, bởi lẽ việc bố trí lại kết cấu khung xương chỉ phù hợp cho thiết kế mới từ ý tưởng ban đầu, nhưng thực tế chỉ ra rằng việc tối ưu hóa để cải tiến kết cấu với điều kiện giảm thiểu chi phí phát sinh thì rất cần thiết được triển khai trên thiết kế đã được hiện thực hóa. Bên cạnh đó, việc sử dụng vật liệu nhôm sẽ rất khó để thực hiện khi công nghệ sản xuất tại doanh nghiệp chưa đủ để đáp ứng, về vấn đề thay đổi chiều dày tiết diện mặt cắt ngang các thanh chỉ phù hợp với thiết kế đã tồn tại và đang được sản xuất.

Vì vậy, trong bài báo này nhóm tác giả trình bày việc ứng dụng phương pháp PTHH nhằm tính toán tối ưu hóa

Abstract - Public transport by bus is considered as the most popular mode of passenger transport in the world. Public transport by bus has adapted to all types of urban centers, with high mobility, less obstructing, integrating with other types of road transport. In addition, the exploitation and operation of bus transport are simple and convenient. Applying FEM softwares to optimize the design and manufacturing process provides the most comprehensive solution that enables CAE solutions in the industry, including simulation, analysis, data management, structural optimization, durability, bringing economic value to manufacturers as well as consumers. In this paper, the HyperWorks FEM software is used to optimize the durability of bus body frame B45, contributing to improved durability, lifetime and material savings while maintaining quality, safety of the bus.

Key words - optimize body frame; bus body frame; HyperWorks; FEM; FEM simulation.

khung xương xe buýt B45. Phần mềm PTHH được sử dụng trong nghiên cứu này là phần mềm HyperWorks. Kết quả của nghiên cứu này có ý nghĩa khoa học và thực tiễn trong việc nâng cao độ bền, tuổi thọ, tiết kiệm được nguyên vật liệu mà vẫn đảm bảo được chất lượng, sự an toàn cho xe buýt. Điều đó cũng đồng nghĩa với việc tiết kiệm năng lượng và giảm ô nhiễm môi trường. Từ đó chi phí sản xuất sẽ giảm, mang lại giá thành hợp lý gián tiếp và lợi nhuận thiết thực cho người tiêu dùng.

2. Nghiên cứu tối ưu hóa độ bền khung xe buýt B45

2.1. Tổng quan về phương pháp phần tử hữu hạn và phần mềm HyperWorks

Ứng dụng phương pháp phần tử hữu hạn vào lĩnh vực cơ học kết cấu, bằng cách chia vật thể ra thành một tập hữu hạn các miền con liên nhau nhưng giữa chúng chỉ liên kết với nhau thông qua các nút (node). Trường chuyển vị, biến dạng, ứng suất được xác định trong từng miền con, mỗi miền được gọi là một PTHH. Dạng phần tử có thể là thanh, thanh dầm, tấm, vỏ, khối, các phần tử được nối kết với nhau qua các nút [3].

Các tài liệu nghiên cứu trước đây đều chỉ ra rằng, với một bài toán được giải bằng phương pháp PTHH, cơ bản đều phải trải qua ba giai đoạn chính, khởi đầu bằng việc xây dựng mô hình tính toán dưới dạng các PTHH và đảm bảo tất cả chúng phải đáp ứng được các điều kiện mà phương pháp này yêu cầu, sau khi áp đặt đủ điều kiện biên cho chúng thì quá trình tính toán sẽ được triển khai, bằng việc giải các phương trình ma trận độ cứng phần tử nhằm xuất ra kết quả ứng suất và biến dạng của kết cấu trước khi kết thúc một chu trình.

2.1.1. Bài toán tối ưu hóa kết cấu

a. Cơ sở chung cho bài toán tối ưu hóa kết cấu

Một cách tổng quát, bài toán tối ưu được đặt ra là tìm các biến $x_1, x_2, \dots, x_n$ sao cho hàm số: $f = f(x_1, x_2, \dots, x_n) = f(x)$ đạt min (hay max), đồng thời thỏa mãn các điều kiện ràng buộc:

$$g_i(x) \leq \bar{g}_i \quad (i = 1, 2, 3, \dots, m_1)$$

$$\underline{h}_i \leq h_i(x) \leq \bar{h}_i \quad (i = 1, 2, 3, \dots, m_2)$$

$$\underline{w}_i \leq w_i(x) \leq \bar{w}_i \quad (i = 1, 2, 3, \dots, m_3)$$

b. Lý thuyết cho bài toán tối ưu kết cấu bằng phương pháp lực ma trận

Với bài toán tối ưu kết cấu bằng phương pháp lực ma trận thì hàm mục tiêu có dạng:

+ Thể tích kết cấu:

$$V = \sum_{i=1}^N L_i \cdot A_i \quad (1)$$

Trong đó: - N: số nhóm;

- L_i, A_i : tổng chiều dài và diện tích mặt cắt các phần tử của nhóm i .

+ Trọng lượng kết cấu:

$$G = \sum_{i=1}^N \gamma_i \cdot L_i \cdot A_i \quad (2)$$

Trong đó: γ_i : trọng lượng riêng vật liệu nhóm i .

+ Hệ ràng buộc: Ngoài điều kiện biến dạng của hệ cơ bản phải giống như hệ siêu tĩnh ban đầu, còn liên quan đến hai điều kiện phải đảm bảo, đó là độ bền và độ cứng.

Các ràng buộc:

$$\begin{aligned} \text{- Về độ bền: } & \sigma_{\max, i} \leq [\sigma]_i^k \\ & \sigma_{\min, i} \leq [\sigma]_i^n; i = 1 + e \end{aligned} \quad (3)$$

Trong đó: - e: số lượng phần tử của hệ;

- $[\sigma]_i^k, [\sigma]_i^n$: ứng suất cho phép khi kéo và nén đối với phần tử i .

$$\text{- Về độ cứng: } \Delta_p \leq [\Delta] \quad (4)$$

Trong đó: $[\Delta]$: chuyển vị cho phép đối với các điểm đặt tải trọng trên hệ.

+ Điều kiện biến dạng: $\Delta_x = 0$ Hay

$$B_x^T \cdot F \cdot B_o \cdot P + B_x^T \cdot F \cdot B_x \cdot X = 0$$

c. Tối ưu hóa kết cấu bằng phương pháp chuyển vị dạng ma trận

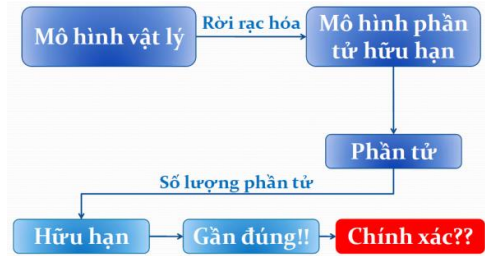
Để tối ưu hóa kết cấu bằng phương pháp chuyển vị dạng ma trận, phải tính toán tối ưu cho các hệ sau:

- + Tối ưu hóa hệ dàn;
- + Tối ưu hóa hệ khung;
- + Tối ưu hóa kết cấu bằng phương pháp phân tích độ

nhạy: Phân tích độ nhạy của chuyển vị; điều chỉnh kết cấu dàn; điều chỉnh kết cấu khung.

2.1.2. Phần mềm HyperWorks

HyperWorks là nền tảng mô phỏng có kiến trúc mở toàn diện nhất cung cấp các công nghệ hàng đầu để thiết kế và tối ưu các sản phẩm một cách sáng tạo và có hiệu quả. HyperWorks bao gồm các công cụ mô hình hóa phần tử hữu hạn, phân tích và tối ưu hóa các cấu trúc, lưu trữ, hệ đa vật thể, điện tử và vị trí ăng-ten, phát triển các mô hình cơ sở, phân tích các hệ đa môi trường [4]. Phần mềm HyperWorks được sử dụng rộng rãi với các mô-đun chính: Hypermesh, Motionsolve, Radioss, Optistruct, Hypergraph. Quy trình tính toán được mô tả tổng quát như sơ đồ được thể hiện trong Hình 1.



Hình 1. Quy trình tính toán trong HyperWorks

2.2. Tối ưu độ bền khung xe buýt

2.2.1. Cấu trúc tổng thể của một bài toán bền trong phần mềm HyperWorks

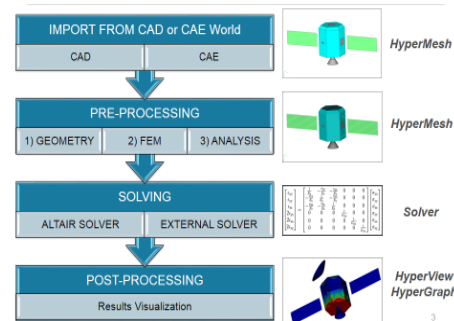
Cấu trúc cơ bản của bài toán bền trong phần mềm HyperWorks gồm 4 phần được thể hiện trong Hình 2, cụ thể:

+ Import dữ liệu: dữ liệu dưới dạng cad từ các phần mềm thiết kế.

+ Xử lý mô hình: xây dựng mô hình lưới từ mô hình cad, cài đặt thuộc tính vật liệu, khai báo contact, kiểu liên kết (bu lông, mối hàn...), cài đặt điều kiện biên, đặt lực tác dụng và khai báo kiểu liner static.

+ Giải bài toán: bộ giải optistruct sẽ giải phương trình ma trận độ cứng để xác định chuyển vị tại các nút, từ đó tính ra biến dạng, ứng suất của các phần tử.

+ Kết quả tính toán: giúp người dùng đọc các kết quả để phân tích kết quả bài toán bền như: ứng suất, chuyển vị với các bài toán tĩnh; tần số riêng.



Hình 2. Cấu trúc tổng thể bài toán bền trong phần mềm HyperWorks [4]

2.2.2. Thiết kế tối ưu hóa khung xe trong HyperWorks

Thiết kế tối ưu hóa (Design Optimization) là kỹ thuật tính toán, phân tích dữ liệu để đạt được yêu cầu đặt ra như:

có trọng lượng, thể tích và diện tích bề mặt nhỏ nhất mà vẫn đáp ứng được các giới hạn cho phép về chuyển vị, ứng suất. Cách thức tối ưu hóa được thể hiện trên HyperWorks qua các bước sau: Tạo file dữ liệu; Khai báo các biến tối ưu; Thiết lập hàm điều kiện (Response) cho vùng Design; Thiết lập giá trị cho hàm điều kiện (dconstraints); Thiết lập điều kiện hội tụ (objective); Thiết lập các dữ liệu ngõ ra; Kiểm tra và xuất kết quả.

2.2.3. Tính toán độ bền khung xương xe buýt

Quá trình tính toán độ bền khung xương xe buýt được thực hiện như sau:

+ Các thông số kỹ thuật xe buýt B45 được lấy từ xe thực tế.

+ Nhập các thông số đầu vào cho việc tính toán.

+ Tính khối lượng từng phần của khung xương: Khung xương đầu; khung xương mảng hông trái; khung xương mảng hông phải; khung xương mảng mũi; khung xương mảng đuôi; khung xương mảng sàn.

+ Phân tích tải trọng tác dụng lên khung xương: Khi làm việc, khung xương xe buýt chịu các lực tác dụng với cường độ lặp đi lặp lại nhiều lần, liên tục, gây ra hiện tượng mỏi, ngoài ra còn chịu sự tác dụng của tải trọng động trong các trường hợp khác nhau, khi làm việc ở nhiều môi trường khác nhau, mặt đường gồ ghề,

Khi có tải trọng lớn nhất tác dụng, thân xe vẫn phải đảm bảo được độ bền kết cấu, mặc dù rất ít xảy ra trường hợp này. Do vậy, cần thiết phải xác định hệ số tải trọng động và để đảm bảo khả năng chịu mỏi và độ bền của thân xe, hệ số an toàn được thêm vào khi tính toán [5]:

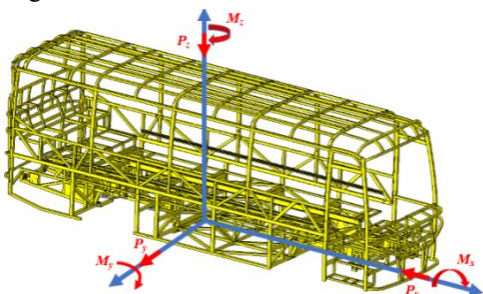
$$P_{dyn} = P_{st} \cdot \frac{a}{g} = P_{st} \cdot m \quad (5)$$

Trong đó: P_{dyn} : tải trọng động (kg), P_{st} : tải trọng tĩnh (kg), g : gia tốc trọng trường (m/s^2), a : gia tốc tức thời (m/s^2), m : hệ số của lực quán tính.

Các lực tác dụng lên thân xe được thể hiện như trên Hình 3, gồm có: $P_y = m_y (G_c - G_m)$; $P_x = m_x (G_c - G_m)$;

$$P_z = m_z (G_c - G_m).$$

Các lực này gây ra mô-men: M_z : mô-men uốn; M_x : mô-men xoắn; M_y : mô-men uốn trong mặt phẳng Z-X. Giá trị M_y rất bé và được bỏ qua do độ cứng EI của thân xe trong mặt phẳng Z-X là rất lớn.



Hình 3. Các lực tác dụng lên khung xe

Hệ số tải trọng sẽ được cài đặt trong mục forms của phần mềm HyperWorks, được thể hiện trên Hình 4.

State	Loadcase #	Title	Location	Direction	Load Type	Mult.	Value	Steps
✓	1	1G Vert	Tire patch-left	Z	LOAD	0.0000	24525.0000	10
✓	1	1G Vert	Tire patch-right	Z	LOAD	0.0000	24525.0000	10
✓	2	2G Vert	Tire patch-left	Z	LOAD	1.0000	24525.0000	10
✓	2	2G Vert	Tire patch-right	Z	LOAD	1.0000	24525.0000	10
✓	3	0.5G Twist Left	Tire patch-left	Z	LOAD	0.5000	24525.0000	10
✓	3	0.5G Twist Left	Tire patch-right	Z	LOAD	0.0000	24525.0000	10
✓	4	0.5G Twist Right	Tire patch-left	Z	LOAD	0.0000	24525.0000	10
✓	4	0.5G Twist Right	Tire patch-right	Z	LOAD	0.5000	24525.0000	10
✓	5	0.8G Front Braking	Tire patch-left	X	LOAD	-0.8000	24525.0000	10
✓	5	0.8G Front Braking	Tire patch-right	X	LOAD	-0.8000	24525.0000	10
✓	6	0.5G Rear Braking	Tire patch-left	X	LOAD	0.5000	24525.0000	10
✓	6	0.5G Rear Braking	Tire patch-right	X	LOAD	0.5000	24525.0000	10
✓	7	0.5G Lateral Left	Tire patch-left	Y	LOAD	0.5000	24525.0000	10
✓	7	0.5G Lateral Left	Tire patch-right	Y	LOAD	-0.5000	24525.0000	10
✓	8	0.5G Lateral Right	Tire patch-left	Y	LOAD	0.5000	24525.0000	10
✓	8	0.5G Lateral Right	Tire patch-right	Y	LOAD	0.5000	24525.0000	10

Hình 4. Giao diện nhập hệ số tải trọng động trong HyperWorks

+ Phương pháp đặt tải trọng:

- Đối với tải trọng phân bố: Tải trọng phân bố sẽ được đặt cho trường hợp khi một vật thể đặt trên xe có bề mặt tiếp xúc khá lớn và dường như chúng có khối lượng phân bố tương đối đều trong mọi miền thể tích (có thể kể đến như: lướt gió, composite, nhựa đầu, la phông, ván sàn.v.v...). Theo phương pháp này, khối lượng đặt vào mô hình sẽ tuân theo công thức sau:

$$m_{pb} = n_c \cdot m_0 \quad (6)$$

Trong đó: m_{pb} : là khối lượng vốn có ban đầu của vật thể có dạng phân bố; n_c : là tổng số lượng node (điểm) mà toàn bộ vật thể đó có thể tiếp xúc trên bề mặt diện tích; m_0 : khối lượng phân bố trên một node.

- Đối với tải trọng tập trung: Phương pháp đặt tải trọng tập trung sẽ được thực hiện khi tọa độ trọng tâm của vật thể cần gán khối lượng đã được xác định. Với một số vật thể đơn giản, về mặt lý thuyết, bằng định lý Varinhông chúng ta có thể xác định được tọa độ trọng tâm của chúng [6].

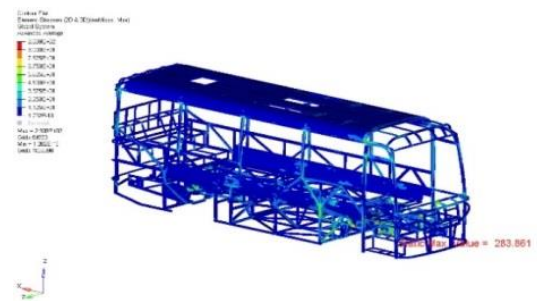
+ Tính toán và đánh giá kết quả về khả năng chịu tải của khung xương.

3. Kết quả và thảo luận

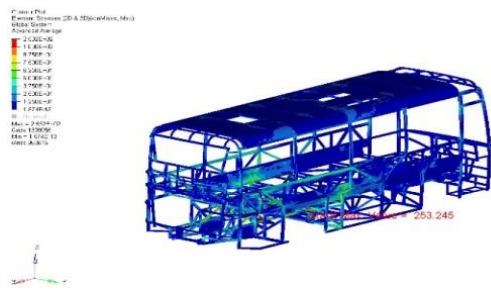
3.1. Trường ứng suất

Vật liệu sử dụng cho khung xương xe buýt B45 chủ yếu là loại thép SAPH 440 với các giới hạn ứng suất sau: $[\sigma_b] = 440 \text{ MPa}$ và $[\sigma_{ch}] = 220 \text{ MPa}$.

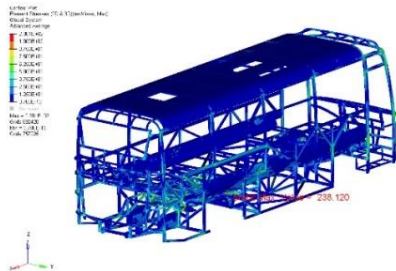
Sau khi chạy tính toán trong phần mềm PTHH HyperWorks, kết quả trường ứng suất của các phần quan trọng đề cập ở trên được trích xuất. Hình 5 đến Hình 12 thể hiện lần lượt trường ứng suất trong các trường hợp được xem xét: khi xe bị uốn tại cầu trước, cầu sau, quay vòng trái, quay vòng phải, chạy tiến, chạy lùi, xoắn trái, xoắn phải.



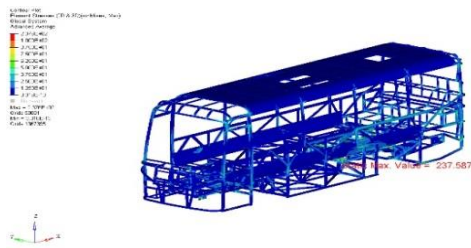
Hình 5. Kết quả ứng suất khi xe bị uốn tại cầu trước 2.0G



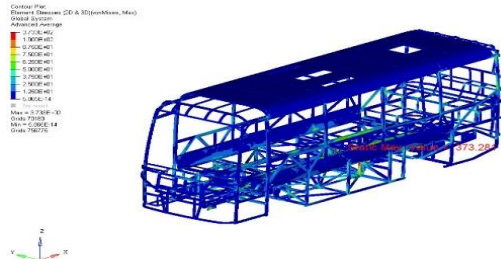
Hình 6. Kết quả ứng suất khi xe bị uốn tại cầu sau 2.0G



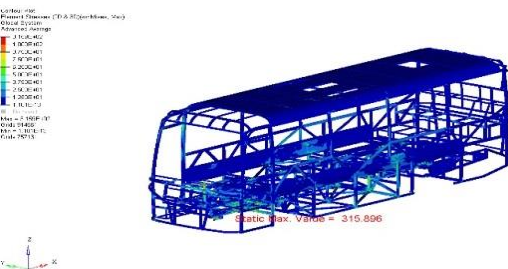
Hình 7. Kết quả ứng suất khi xe quay vòng trái 0.5G



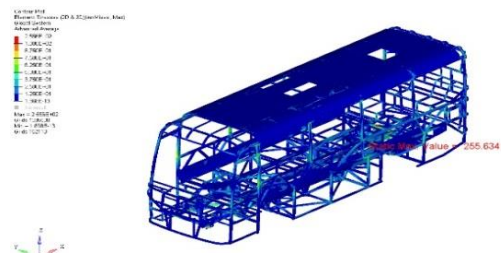
Hình 8. Kết quả ứng suất khi xe quay vòng phải 0.5G



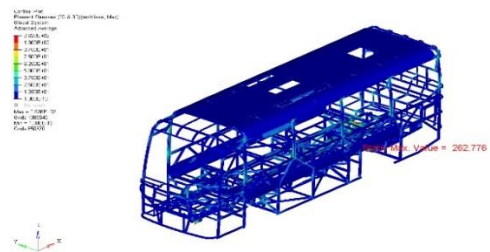
Hình 9. Kết quả ứng suất khi phanh xe lúc đang chạy tiến 0.8G



Hình 10. Kết quả ứng suất khi phanh xe lúc đang chạy lùi 0.5G



Hình 11. Kết quả ứng suất khi xe bị xoắn bên trái 0.5G



Hình 12. Kết quả ứng suất khi xe bị xoắn bên phải 0.5G

Từ kết quả trường ứng suất với các trường hợp trên, một bảng tổng hợp giá trị ứng suất và chuyển vị được đưa ra như đề cập trong Bảng 1. Từ các số liệu của Bảng 1, ta có thể nhận thấy rằng kết cấu khung xương xe buýt B45 thỏa mãn về giá trị độ bền cho mọi trường hợp chịu tải, đồng thời mức độ chuyển vị của chúng vẫn ở mức tương đối thấp, các giá trị này phản ánh một điều rằng, tình trạng độ cứng của kết cấu khung xương rất tốt, ngoài việc đảm bảo độ bền cho các thành phần liên kết với khung xương nó còn phục vụ giảm thiểu độ rung ồn cho toàn hệ kết cấu xe buýt.

Bảng 1. Tổng hợp giá trị ứng suất và chuyển vị trong 8 trường hợp lực

STT	Trường hợp chịu lực	Ứng suất (MPa)	Chuyển vị (mm)
1	Uốn cầu trước 2.0G	283.861	2.961
2	Uốn cầu sau 2.0G	253.245	4.050
3	Quay vòng sang trái 0.5G	238.12	5.318
4	Quay vòng sang phải 0.5G	237.587	4.482
5	Phanh xe khi đang chạy tiến 0.8G	373.281	3.979
6	Phanh xe khi đang chạy lùi 0.5G	315.896	2.409
7	Xoắn toàn xe bên trái 0.5G	255.634	4.078
8	Xoắn toàn xe bên phải 0.5G	262.776	3.645

Bảng sự hỗ trợ hệ giải Optistruct của Hypermesh và sự hiển thị kết quả một cách trực quan trên Hyperview, chúng ta có thể dễ dàng đánh giá được mức độ chịu tải của khung xương trong từng trường hợp lực, từ đó giúp người dùng biết được các ứng xử giữa các vùng kết cấu với nhau, và dựa vào đó để làm cơ sở tối ưu hóa với mục đích giảm được mức độ sử dụng vật liệu, góp phần rút ngắn chi phí trong sản xuất. Đó cũng chính là ý nghĩa của việc tính toán và tối ưu hóa độ bền đã được đề cập ở trên.

3.2. Tối ưu hóa khung xương

Từ kết quả tính toán độ bền khung xe ta nhận thấy rằng, mặc dù ứng suất sinh ra trong kết cấu khung xương trên tất cả các trường hợp chịu tải của xe đều thỏa mãn điều kiện bền cho phép của vật liệu sử dụng. Tuy vậy, nhằm nâng cao tuổi thọ cũng như tăng sức bền mỏi cho khung xương, đồng thời mong muốn có một kết cấu gọn nhẹ tiết kiệm chi phí sản xuất, chính vì thế cần phải có một phương pháp tối ưu hóa. Sử dụng phương pháp tối ưu hóa bằng cách phân tích độ nhạy chuyển vị để đáp ứng được những mục đích này.

Với sự giúp đỡ của phần mềm HyperWorks, dựa vào thể tích tổng thể để chọn ra bộ thông số tối ưu nhất cho khung xương xe buýt. Theo [7], bài toán đầu vào phải đảm bảo ba thông số chính: Biến thiết kế (design variables, design variable property relationship); Hàm ràng buộc (constraint);

Hàm mục tiêu (target). Thực hiện chạy tối ưu, kết quả vòng lặp đầu tiên và thứ hai với các giá trị tương ứng cho các thanh dầm của kết cấu mảng hông và mũi được thể hiện lần lượt như trong Bảng 2 và Bảng 3 bên dưới. Kết quả từ 2 bảng này được liệt kê cụ thể trong Bảng 4 với độ sai lệch về ứng suất và chuyển vị cho từng trường hợp cụ thể.

Bảng 2. Bộ thông số tối ưu ở vòng lặp đầu tiên

ID	Label	New	Reference	Lower	Upper	Weighted
1	H1	2,00E+00	2,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-1,78E+03
2	H2	2,00E+00	2,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-1,93E+03
3	H3	2,00E+00	2,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-1,69E+03
4	H4	2,00E+00	2,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-2,20E+03
5	H5	1,40E+00	1,40E+00	1,00E-01	3,00E+00	-6,17E+02
6	H6	1,40E+00	1,40E+00	1,00E-01	3,00E+00	-1,52E+02
7	H7	1,40E+00	1,40E+00	1,00E-01	3,00E+00	-4,47E+02
8	H8	1,40E+00	1,40E+00	1,00E-01	3,00E+00	-4,27E+02
9	H9	1,40E+00	1,40E+00	1,00E-01	3,00E+00	-1,63E+02
10	H10	2,00E+00	2,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-1,64E+03
11	H11	1,40E+00	1,40E+00	1,00E-01	3,00E+00	-1,07E+03
12	H12	2,00E+00	2,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-3,25E+02
13	H13	1,40E+00	1,40E+00	1,00E-01	3,00E+00	-1,49E+02
14	H14	2,00E+00	2,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-6,82E+02
15	H15	1,40E+00	1,40E+00	1,00E-01	3,00E+00	-2,31E+02
16	H16	1,40E+00	1,40E+00	1,00E-01	3,00E+00	-1,59E+02
17	H17	2,00E+00	2,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-1,85E+03
18	H18	2,00E+00	2,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-7,93E+02
19	H19	2,00E+00	2,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-6,17E+03
20	H20	2,00E+00	2,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-8,97E+03
21	H21	2,00E+00	2,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-1,42E+03
22	H22	2,00E+00	2,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-1,72E+03
23	H23	2,00E+00	2,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-2,27E+03
24	H24	2,00E+00	2,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-8,97E+02
25	H25	2,00E+00	2,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-9,81E+02
26	H26	1,40E+00	1,40E+00	1,00E-01	3,00E+00	-9,77E+03
27	gM2	2,00E+00	2,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-5,80E+02
28	gM3	2,00E+00	2,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-1,36E+03
29	gM4	2,00E+00	2,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-7,04E+02
30	gM5	2,00E+00	2,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-1,31E+03
31	gM6	2,00E+00	2,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-6,77E+02
32	gM7	2,00E+00	2,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-6,20E+02
33	gM8	2,00E+00	2,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-2,12E+02
34	gM9	2,00E+00	2,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-7,46E+01
35	gM10	1,40E+00	1,40E+00	1,00E-01	3,00E+00	1,45E+02
36	gM11	1,40E+00	1,40E+00	1,00E-01	3,00E+00	8,87E+02
37	gM12	1,40E+00	1,40E+00	1,00E-01	3,00E+00	1,14E+03
38	gM13	1,40E+00	1,40E+00	1,00E-01	3,00E+00	1,30E+03
39	gM1	2,00E+00	2,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-7,74E+02

Từ các kết quả trên, chúng ta thấy rằng, bằng phương pháp phân tích độ nhạy chúng ta nhanh chóng tìm được bộ thông số tối ưu hơn so với thiết kế ban đầu. Cụ thể, từ bảng kết quả so sánh cho thấy:

- Ứng suất sinh ra trước và sau khi tối ưu gần như có giá trị tương đương nhau và đều nằm trong giới hạn bền cho phép của vật liệu trong tất cả các trường hợp chịu tải của xe.
- Chuyển vị trong cả 2 trường hợp có giá trị chênh lệch nhau không nhiều và đều đảm bảo được độ cứng tối thiểu cho khung xương cần yêu cầu.

- Khối lượng khung xương mảng mũi nói riêng và tổng khối lượng toàn hệ kết cấu nói chung sau tối ưu giảm 45,7 kg tương đương với khối lượng hiện tại của mảng mũi là 133 kg (ban đầu 178,7 kg).

Bảng 3. Bộ thông số tối ưu ở vòng lặp thứ 2

ID	Label	New	Reference	Lower	Upper	Weighted
1	H1	3,00E+00	3,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-1,19E+03
2	H2	3,00E+00	3,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-1,23E+03
3	H3	3,00E+00	3,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-1,09E+03
4	H4	3,00E+00	3,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-1,28E+03
5	H5	3,00E+00	3,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-2,24E+02
6	H6	3,00E+00	3,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-6,18E+01
7	H7	3,00E+00	3,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-1,72E+02
8	H8	3,00E+00	3,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-1,66E+02
9	H9	3,00E+00	3,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-7,78E+01
10	H10	3,00E+00	3,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-9,46E+02
11	H11	3,00E+00	3,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-4,04E+02
12	H12	3,00E+00	3,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-2,02E+02
13	H13	3,00E+00	3,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-9,58E+01
14	H14	3,00E+00	3,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-4,37E+02
15	H15	3,00E+00	3,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-1,20E+02
16	H16	3,00E+00	3,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-9,14E+01
17	H17	3,00E+00	3,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-8,90E+02
18	H18	3,00E+00	3,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-4,49E+02
19	H19	3,00E+00	3,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-3,57E+03
20	H20	3,00E+00	3,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-5,05E+03
21	H21	3,00E+00	3,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-9,14E+02
22	H22	3,00E+00	3,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-9,69E+02
23	H23	3,00E+00	3,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-1,28E+03
24	H24	3,00E+00	3,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-5,89E+02
25	H25	3,00E+00	3,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-6,13E+02
26	H26	3,00E+00	3,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-2,87E+03
27	gM2	3,00E+00	3,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-1,89E+02
28	gM3	3,00E+00	3,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-5,43E+02
29	gM4	3,00E+00	3,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-2,44E+02
30	gM5	3,00E+00	3,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-5,03E+02
31	gM6	3,00E+00	3,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-2,20E+02
32	gM7	3,00E+00	3,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-2,69E+02
33	gM8	3,00E+00	3,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-6,96E+01
34	gM9	3,00E+00	3,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-1,13E+01
35	gM10	1,88E+00	1,88E+00	1,00E-01	3,00E+00	3,33E+01
36	gM11	1,07E+00	1,07E+00	1,00E-01	3,00E+00	7,64E+01
37	gM12	1,00E-01	1,00E-01	1,00E-01	3,00E+00	4,93E+02
38	gM13	1,00E-01	1,00E-01	1,00E-01	3,00E+00	4,56E+02
39	gM1	3,00E+00	3,00E+00	1,00E-01	3,00E+00	-3,59E+02

Bảng 4. Kết quả tính toán độ bền khung xương sau khi tối ưu hóa

ST T	Trường hợp chịu lực	Ứng suất (MPa)	Chuyển vị (mm)	Sai lệch (%)	
				Ứng suất	Chuyển vị
1	Uốn cầu trước 2.0G	283.926	2.959	0,02	-0,07
2	Uốn cầu sau 2.0G	256.217	4.116	1,17	1,63
3	Quay vòng sang trái 0.5G	237.902	5.343	-0,09	0,47
4	Quay vòng sang phải 0.5G	237.352	4.470	-0,10	-0,27
5	Phanh xe khi đang chạy tiến 0.8G	374.635	3.988	0,36	0,23
6	Phanh xe khi đang chạy lùi 0.5G	314.916	2.372	-0,53	-1,54
7	Xoắn toàn xe bên trái 0.5G	255.374	4.147	0,01	1,69
8	Xoắn toàn xe bên phải 0.5G	262.786	3.760	0,004	3,16

4. Kết luận

Việc ứng dụng phần mềm PTHH HyperWorks trong thiết kế tính toán khung xương xe buýt nói riêng và khung xương ô tô nói chung là rất cần thiết và hiệu quả cao về nhiều mặt. Cụ thể, nghiên cứu này đã đưa ra được một số kết quả chính sau:

(1) Kết quả tính toán đạt độ tin cậy cao, thời gian tính toán được tinh giản và rất linh hoạt do sự thay đổi các biến trạng thái được định nghĩa một cách cụ thể trong HyperWorks.

(2) Phương pháp PTHH là phương pháp hữu ích, cần thiết để giải quyết các bài toán cơ học nhằm giảm thời gian thiết kế và thời gian thử nghiệm khung xương thân xe.

(3) Giúp đa dạng hóa hình dáng kết cấu của mô hình.

Các kết quả của nghiên cứu này có ý nghĩa khoa học và thực tiễn trong việc nâng cao độ bền, tuổi thọ, tiết kiệm được nguyên vật liệu mà vẫn đảm bảo được chất lượng, sự an toàn cho xe buýt. Điều đó cũng đồng nghĩa với việc tiết

kiệm năng lượng và giảm ô nhiễm môi trường. Từ đó chi phí sản xuất sẽ giảm, mang lại giá thành hợp lý gián tiếp và lợi nhuận thiết thực cho người tiêu dùng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Bộ Giao thông Vận tải, Viện Chiến lược và Phát triển Giao thông vận tải, *Đề án nâng cao chất lượng vận tải hành khách công cộng bằng xe buýt*, Hà Nội, 2016.
- [2] Qiang Zhu, Xiaomei Li, "Light Weight Research of Monocoque City Bus Body Frame", *DEStech Transactions on Computer Science and Engineering*, 6th International Conference on Information Technology for Manufacturing Systems (ITMS 2016), ISBN: 978-1-60595-353-3, 2016, pp. 51-52.
- [3] Trần Ích Thịnh, Ngô Như Khoa, *Phương pháp phần tử hữu hạn*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2007.
- [4] HyperWorks, *Hypermesh Desktop Introductions*, Altair Engineering, 2014.
- [5] Dieter Schramm, Manfred Hiller, Roberto Bardini, *Vehicle Dynamics*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2014.
- [6] Reza N. Jazar, *Vehicle Dynamics*, Springer International Publishing, 2014.
- [7] Hyperworks, *Structural Optimization using OptiStruct*, Altair Engineering, 2014.

(BBT nhận bài: 23/7/2018, hoàn tất thủ tục phản biện: 15/8/2018)