

CẢI TIẾN TÍNH AN TOÀN KHUNG THÂN XE BUÝT TRONG ĐIỀU KIỆN LẬT NGHIÊNG

IMPROVEMENT IN BODY STRUCTURE OF BUS TO SATISFY ROLLOVER SAFETY BASED

Đỗ Kim Hoàng^{1,*}, Đoàn Thanh Sơn¹,
Phan Văn Đức¹, Trần Trọng Nhân¹, Nguyễn Xuân Trường²

TÓM TẮT

Để nghiên cứu động lực học cấu trúc của thân xe buýt trong điều kiện lật nghiêng, phân tích phần tử hữu hạn được sử dụng trên phần mềm Hypermesh/LS-Dyna. Kết quả phân tích mô phỏng theo tiêu chuẩn ECE R66 cho thấy các đặc điểm va chạm của cấu trúc xe buýt đã được cải thiện khi tăng tiết diện, độ dày phần thân hoặc gia công độ cứng kết cấu. Tuy nhiên, việc tăng tiết diện và độ dày sẽ gia tăng độ cứng và trọng lượng của cấu trúc thân xe buýt. Sự biến dạng của cấu trúc thân xe buýt không xâm nhập vào không gian sống của xe trong sự kiện lật nghiêng đáp ứng yêu cầu theo tiêu chuẩn.

Từ khóa: Tiêu chuẩn ECE R66; kết cấu ô tô khách; phân tích mô phỏng, cải tiến kết cấu.

ABSTRACT

To investigate the structural dynamics of the bus body structure in case of the rollover, dynamic finite element analyses were used using Hypermesh/LS-Dyna. Simulation results following standard ECE R66 showed that the crashworthiness characteristics of the bus structure was improved increasing cross-section, wall-thickness or structural stiffness. However, increasing cross-section and wall-thickness can lead to the rise in stiffness and weight of the bus body structure. The deformation of the proposed bus body structure does not penetrate occupant living space in rollover event and regular requirements can be met.

Keywords: Standard ECE R66; bus structure; simulation analysis, improvement design.

¹Trường Đại học Văn Lang

²Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: hoang.dk@vlu.edu.vn

Ngày nhận bài: 18/10/2020

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 28/11/2020

Ngày chấp nhận đăng: 23/12/2020

1. MỞ ĐẦU

Ngày nay, vận chuyển hành khách góp phần quan trọng trong hệ thống giao thông quốc gia, mang lại nhiều lợi ích cho xã hội, như an toàn, giảm nguy cơ ùn tắc giao thông, giảm ô nhiễm môi trường. Mặc dù ô tô khách là một trong những phương tiện giao thông an toàn nhất nhưng tai nạn gây ra chấn thương, thương vong vẫn xảy ra, đặc biệt là tai nạn lật nghiêng làm cho nhiều người chấn thương và tử

vong cùng lúc. Theo báo cáo của Tổng cục Thống kê, trong năm 2019 trên địa bàn cả nước đã xảy ra 17.626 vụ tai nạn giao thông, bao gồm 9.229 vụ tai nạn giao thông từ ít nghiêm trọng trở lên và 8.397 vụ va chạm giao thông, làm 7.624 người chết; 13.624 người bị thương và 8.528 người bị thương nhẹ [1]. Do đó, tiến hành nghiên cứu thiết kế cải tiến tính an toàn lật nghiêng ô tô khách nhằm bảo hộ an toàn sinh mệnh hành khách có ý nghĩa quan trọng. Sử dụng phần mềm LS-DYNA mô phỏng tính an toàn kết cấu khung xương ô tô khách dưới điều kiện lật nghiêng, trên cơ sở kết quả mô phỏng tiến hành phân tích cơ chế biến dạng của kết cấu, sau đó cải tiến kết cấu nhằm thỏa mãn yêu cầu tiêu chuẩn, tuy nhiên phương án cải tiến chưa tối ưu. Nghiên cứu an toàn kết cấu khung xương ô tô khách cho một đoạn xe; sử dụng phần mềm HYPERWORKS xây dựng mô hình phần tử hữu hạn cho một đoạn xe, sau đó dùng phần mềm LS-DYNA mô phỏng phân tích lật nghiêng, so sánh với kết quả thí nghiệm và cải tiến kết cấu. Tác giả sử dụng phương pháp tăng độ dày kết cấu cho tới khi đạt độ cứng.

Nghiên cứu này xây dựng mô hình phần tử hữu hạn và mô phỏng phân tích kết cấu khung xương ô tô khách dưới điều kiện lật nghiêng theo tiêu chuẩn Châu Âu ECE R66. Trên cơ sở phân tích biến dạng kết cấu, tiến hành cải tiến kết cấu đảm bảo yêu cầu độ cứng theo tiêu chuẩn.

2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH PHÂN TÍCH TÍNH AN TOÀN LẬT NGHIÊNG Ô TÔ KHÁCH

Mô hình bản vẽ Cad 2D của xe bus được cung cấp bởi nhà sản xuất Tracomco có chiều dài $L = 10150\text{mm}$, chiều rộng $B = 2485\text{mm}$, chiều rộng cơ sở bánh sau 1710mm , chiều rộng cơ sở bánh trước 2020mm , chiều cao khi có bánh xe $H = 3515\text{mm}$, có 42 chỗ không kể chỗ của phụ xe.

Mô hình phần tử hữu hạn CAD của xe bus được xây dựng bởi phần mềm mô phỏng HYPERWORKS trong môi trường LS-DYNA ở điều kiện lật nghiêng. Kết cấu thân xe là khung xương chịu lực, khá phức tạp, do đó cần tiến hành mô hình hoá toàn bộ phần tử các thanh khung xương và sát - xi trong quá trình tính toán mô phỏng. Trong quá trình xây dựng mô hình phần tử hữu hạn, sử dụng loại phần tử thích hợp cho mỗi bài toán là rất quan trọng, nó quyết định đến kết quả tính toán mô phỏng có gần đúng so với mô hình thực tế hay không. Do đó, các kết cấu thanh dầm sử dụng phần tử

SHELL63 để xây dựng phần tử hữu hạn, kích cỡ lưới 20mm; các bộ phận có khối lượng như hành khách, ghế ngồi, hành lý, thùng nhiên liệu, ắc quy, hệ thống điều hòa không khí, cửa kính... thì dùng phần tử khối lượng MASS để xây dựng; thiết lập liên kết cứng tiếp điểm ở các vị trí nối giữa các thanh, ngoài ra hàn liên kết các phần tử. Để trực quan quá trình biến dạng kết cấu gây ảnh hưởng đến tổn thương hành khách, dựa vào tiêu chuẩn an toàn Châu Âu ECE R66, sử dụng phần tử thể cứng có khối lượng riêng nhỏ tiến hành xây dựng không gian an toàn, đồng thời xét đến tiếp xúc giữa không gian an toàn với các kết cấu khác. Sát - xi với cầu xe, không gian an toàn với sàn xe được liên kết bằng phương thức CONSTRAINED_EXTRA_NODES_OPTION.

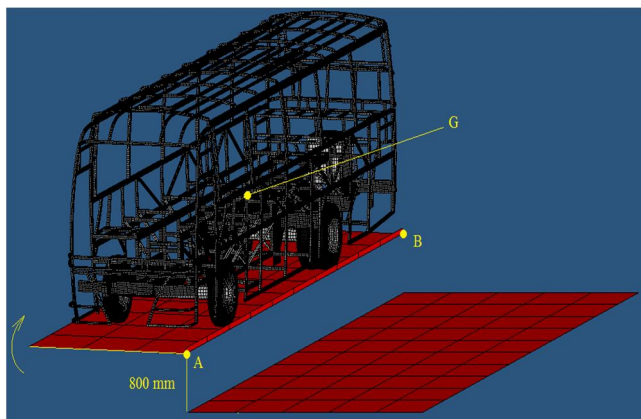
Mặt va chạm, mặt đường đặt xe sử dụng vật liệu cứng để mô phỏng. Tiếp xúc giữa các kết cấu trong xe sử dụng AUTOMATIC_SINGER_SURFACE để thiết lập; tiếp xúc giữa bánh xe với mặt đường, kết cấu xe với mặt va chạm sử dụng AUTOMATIC_SURFACE_TO_SURFACE để thiết lập, hệ số ma sát là 0,5. Gia tốc trọng trường là $g = 9,8m/s^2$.

Kết cấu khung xương sử dụng thép Q235, kết cấu sát - xi sử dụng thép Q345, thuộc tính vật liệu như ở bảng 1.

Bảng 1. Thuộc tính của vật liệu

Tên	Khối lượng riêng (kg/m ³)	Mô đun đàn hồi (MPa)	Hệ số Poisson	Ứng suất chảy (MPa)
Q235	7850	206	0,3	235
Q345	7850	210	0,3	345
BLY160	7800	203	0,3	126

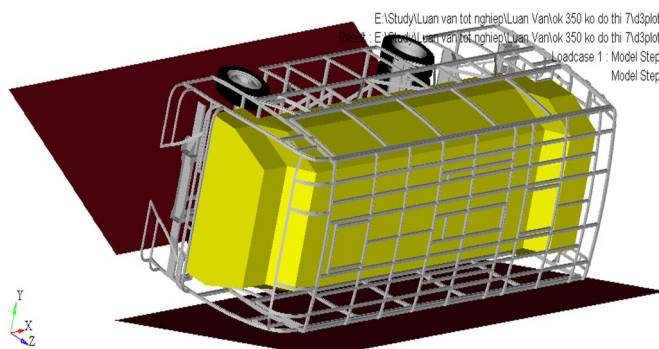
Yêu cầu thực nghiệm an toàn trong bộ tiêu chuẩn ECE R66 như, xe khách đặt trên bệ thử có thể xoay lật nghiêng, cao 800mm so với mặt va chạm, tốc độ quay lật nhỏ hơn 5°/s (0,087rad/s). Tiêu chuẩn cũng cho phép mô phỏng bắt đầu lúc xe tiếp xúc với mặt va chạm, do đó sử dụng định luật bảo toàn năng lượng và chương trình tính toán trên phần mềm LS-DYNA tính được vận tốc của xe lúc chạm đến mặt va chạm là $\omega = 1,7.10^{-3}$ (rad/ms), vận tốc này làm vận tốc bắt đầu mô phỏng. Để thể hiện toàn bộ quá trình biến dạng kết cấu ô tô khách, thiết lập thời gian mô phỏng là 300ms. Mô hình phân tích phần tử hữu hạn mô phỏng quá trình lật nghiêng được xây dựng như ở hình 1.



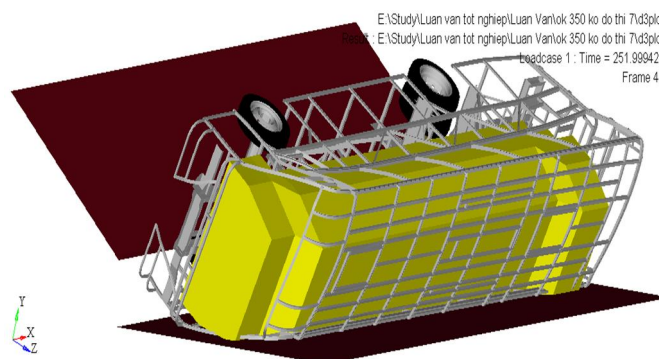
Hình 1. Mô hình phần tử hữu hạn lật nghiêng ô tô khách

3. PHÂN TÍCH BIẾN DẠNG KẾT CẤU LẬT NGHIÊNG Ô TÔ KHÁCH

Dùng phần mềm LS-DYNA phân tích động thái kết cấu xe khách trong quá trình va chạm lật nghiêng, có thể thấy biến dạng kết cấu như ở hình 2. Hình 2 cho thấy, lúc 251ms, kết cấu khung xương biến dạng rất lớn, vượt quá không gian an toàn hành khách.

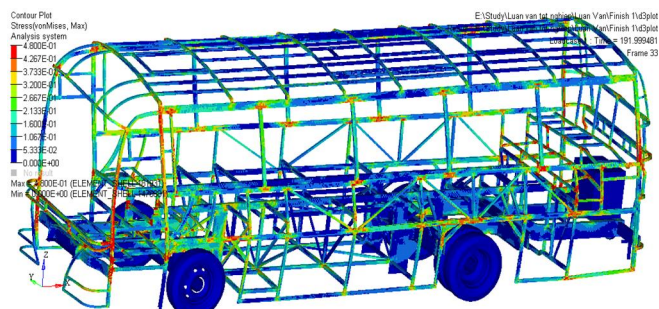


Hình 2. Khung xương trước khi va chạm



Hình 3. Biến dạng khung xương lúc 251ms

Hình 3 là hình thể hiện kết cấu biến dạng của bộ phận liên kết giữa thanh ngang của sàn xe, thanh hông dưới, trụ đứng và thanh xiêng hông xe. Do thiết kế ban đầu của vị trí liên kết này chưa được cứng vững, đồng thời giá trị độ dày và dùng vật liệu chưa hợp lý, dẫn đến độ cứng uốn không đủ, kết cấu tại một số vị trí này biến dạng nghiêm trọng. Ngoài ra, tại vị trí liên kết giữa thanh hông dưới với thanh ngang sàn xe, kết cấu thanh ngang sàn xe biến dạng ít; nhưng tại vị trí liên kết thanh dọc hông dưới, trụ đứng đáy xe và trụ đứng hông xe biến dạng khá lớn. Có thể nói rằng độ cứng kết cấu thanh dọc hông dưới, trụ đáy và trụ hông không thỏa mãn yêu cầu tính an toàn lật nghiêng của ô tô khách.



Hình 4. Ứng suất phân tích trên toàn bộ khung xương

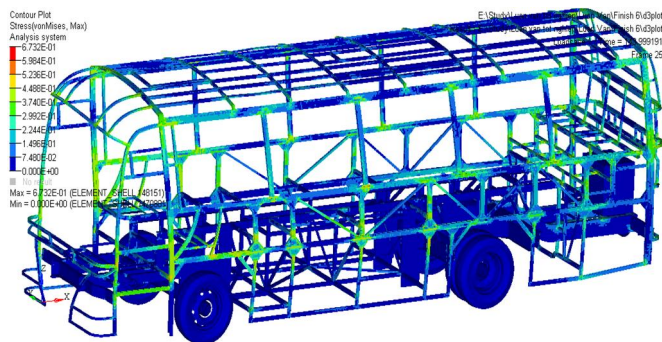
4. PHƯƠNG ÁN CẢI TIẾN KẾT CẤU THÂN Ô TÔ KHÁCH

Sử dụng phương pháp gia tăng độ dày, hoặc tăng tiết diện các kết cấu khung xương để nâng cao tính năng tính an toàn va chạm lật nghiêng của xe khách, không những tăng trọng lượng thân xe, mà còn tăng trọng tâm xe, làm giảm tính ổn định chuyển động xe. Ngoài những phương pháp trên ra, sử dụng phương pháp gia cố độ cứng cục bộ kết hợp tăng độ dày và tăng tiết diện là lựa chọn khá tốt. Nghiên cứu này đã thực hiện các cải tiến liên quan nhằm so sánh, đánh giá ưu nhược điểm, lựa chọn phương án tối ưu để ứng dụng sản xuất, được thể hiện như sau.

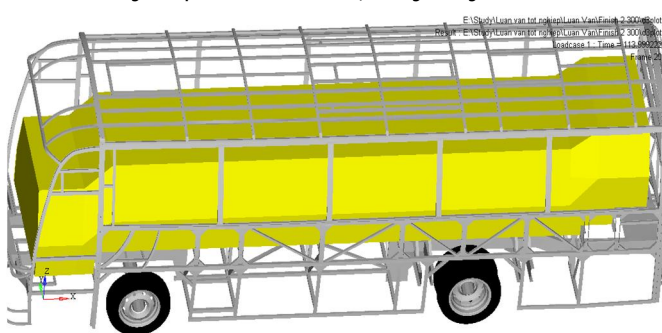
Phương án 1, tăng độ dày cho đến khi độ cứng kết cấu đảm bảo an toàn lật nghiêng. Kết quả phân tích mô phỏng cho thấy, gia tăng độ dày từ 2mm lên 4mm của các thanh kết cấu có biến dạng lớn thì thỏa mãn tính an toàn, trọng lượng xe lúc này là 10500kg, chiều cao trọng tâm là 1304mm.

Phương án 2, gia tăng tiết diện các thanh kết cấu có biến dạng lớn cho đến khi độ cứng thỏa mãn điều kiện lật nghiêng. Kết quả mô phỏng cho thấy, phương án này giảm được trọng lượng và trọng tâm xe so với phương án 1, trọng lượng xe 10270kg, trọng tâm xe 1289mm.

Phương án 3, tiến hành gia tăng độ dày, tăng tiết diện và gia cố cục bộ tại nơi kết cấu có biến dạng lớn, cụ thể như hình 5, 6.

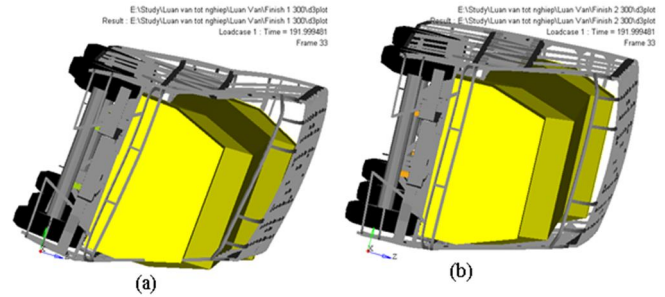


Hình 5. Ứng suất phân tích trên toàn bộ khung xương sau cải tiến



Hình 6. Trạng thái sau cải tiến nhìn từ phía bên hông

Từ các phương án cải tiến ở trên cho thấy, cả ba phương án cải tiến kết cấu đều thỏa mãn yêu cầu tính năng an toàn va chạm lật nghiêng của ô tô khách theo tiêu chuẩn Châu Âu ECE R66, kết cấu thân xe biến dạng thể hiện ở hình 7. Tuy nhiên phương án 3 thể hiện tính ưu việt, trọng lượng và trọng tâm xe giảm so với phương án 1 và phương án 2, thông số so sánh được thể hiện ở bảng 2.



Hình 7. Kết cấu mô phỏng an toàn lật nghiêng trước và sau khi cải tiến

Bảng 2. So sánh thông số các phương án thiết kế cải tiến

	Chưa cải tiến	Phương án 1	Phương án 2	Phương án 3
Khối lượng	9412 (kg)	10290 (kg)	10060 (kg)	9967 (kg)
Trọng tâm	1203 (mm)	1299 (mm)	1259 (mm)	1218 (mm)

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này dựa vào tiêu chuẩn an toàn Châu Âu ECE R66 tiến hành xây dựng mô hình phần tử hữu hạn thực hiện nghiên cứu tính năng an toàn va chạm lật nghiêng ô tô khách. Thông qua phân tích mô phỏng cho thấy, độ cứng kết cấu phần thân trên xe khá nhỏ, biến dạng quá lớn, dẫn đến kết cấu thân xe xâm phạm không gian an toàn của hành khách. Trên cơ sở mô phỏng kết quả biến dạng, đề xuất ba phương án cải tiến kết cấu xe. Kết quả mô phỏng cho thấy, so sánh các phương án 1 và phương án 2, thì phương án 3 có tính năng ưu việt, giảm được trọng lượng và trọng tâm xe. Kết quả cải tiến cho thấy, tính năng an toàn lật nghiêng xe khách được nâng cao, thỏa mãn yêu cầu không gian an toàn của hành khách theo tiêu chuẩn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Tổng cục Thống kê, tai nạn giao thông, 2019, từ nguồn <http://gso.gov.vn/Default.aspx?tabid=382&ItemID=14187>
- [2]. B. Gepner, et al., 2011. *Comparison of ECE-R66 And FMVSS 220 Tests for a Selected Paratransit Bus*. TRB 90th Annual Meeting, Paper: 11-1802.
- [3]. ECE Regulation No. 66, Agreement, E/ECE/TRANS/505, Rev. 1/Add. 65/Rev.1, United Nations, 22 Feb 2006.
- [4]. United Nations. *Strength of the superstructure of large passenger vehicles. Regulation 66. Revision 1*. www.unece.org/trans/main/wp29/wp29regs/r066r1e.pdf
- [5]. C:\Altair\hw9.0\help\hm\hmbat.htm, Tài liệu HyperMesh tiếng anh từ phần Help của phần mềm.
- [6]. LS-DYNA và HyperWorks Mô phỏng phân tích an toàn xe, Đại Học Thanh Hoa, năm 2011.

AUTHORS INFORMATION

**Do Kim Hoang¹, Doan Thanh Son¹, Phan Van Duc¹,
Tran Trong Nhan¹, Nguyen Xuan Trung²**

¹Van Lang University

²Hanoi University of Industry