

**BỘ CÔNG THƯƠNG
ĐẠI HỌC CÔNG NGHIỆP HÀ NỘI**



LÊ DUY LONG

**NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG DAO ĐỘNG XE KHÁCH
ĐẾN NGƯỜI NGỒI TRÊN XE**

LUẬN ÁN TIÊN SĨ KỸ THUẬT CƠ KHÍ ĐỘNG LỰC

**NĂM
2026**

Hà Nội – Năm 2026

LÊ DUY LONG

LUẬN ÁN TIÊN SĨ KỸ THUẬT

**BỘ CÔNG THƯƠNG
ĐẠI HỌC CÔNG NGHIỆP HÀ NỘI**



LÊ DUY LONG

**NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG DAO ĐỘNG XE KHÁCH ĐẾN
NGƯỜI NGỒI TRÊN XE**

Chuyên ngành : Kỹ thuật Cơ khí động lực
Mã số : 9520116

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT CƠ KHÍ ĐỘNG LỰC

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:
1. PGS.TS Nguyễn Thanh Quang
2. PGS.TS Lê Hồng Quân

Hà Nội – Năm 2026

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của riêng tôi và chưa được ai công bố trong bất kỳ công trình nào khác. Các số liệu và kết quả đưa ra trong luận án là trung thực.

Tác giả luận án

Lê Duy Long

LỜI CẢM ƠN

Trước tiên tôi xin được gửi lời cảm ơn sâu sắc đến tập thể các thầy hướng dẫn đã tận tình chỉ bảo và hướng dẫn tôi trong suốt quá trình thực hiện luận án tại Đại học Công nghiệp Hà Nội.

Tôi cũng xin gửi lời cảm ơn đến Khoa Cơ khí Động lực, Trường Cơ khí – Ô tô, là cơ quan chủ quản trực tiếp quản lý đã tạo các điều kiện thuận lợi cũng như đưa ra các ý kiến đóng góp trong quá trình tôi nghiên cứu và công tác tại Đại học Công nghiệp Hà Nội.

MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN	i
LỜI CẢM ƠN	ii
MỤC LỤC	iii
DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU VÀ TỪ VIẾT TẮT	vii
DANH MỤC CÁC ĐỒ THỊ VÀ HÌNH VẼ	ix
DANH MỤC BẢNG BIỂU	xii
MỞ ĐẦU	1
Mục tiêu của luận án	2
Đối tượng nghiên cứu.....	2
Phạm vi nghiên cứu.....	2
Nội dung nghiên cứu	3
Phương pháp nghiên cứu.....	3
Ý nghĩa khoa học và thực tiễn.....	4
Điểm mới của luận án	4
Bố cục của luận án	5
CHƯƠNG 1 - TỔNG QUAN VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU	6
1.1. CÁC NGUỒN GÂY DAO ĐỘNG CHỦ YẾU CỦA XE	8
1.1.1. Sự mất cân bằng của động cơ	8
1.2.2. Sự mất cân bằng của hệ thống truyền lực	9
1.1.3. Độ mập mô mặt đường.....	9
1.2. TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU Ở NGOÀI NƯỚC VÀ TRONG NƯỚC ..	10
1.2.1. Tình hình nghiên cứu ở nước ngoài	10
1.2.2. Tình hình nghiên cứu trong nước.....	14
1.3. CÁC MÔ HÌNH CƠ HỌC TRONG NGHIÊN CỨU DAO ĐỘNG.....	18
1.3.1. Mô hình giảm chấn lò xo khối lượng.....	19
1.3.2. Mô hình động lực học hệ nhiều vật.....	20
1.3.3. Mô hình phân tử hữu hạn	20

1.4. KẾT LUẬN CHƯƠNG.....	21
CHƯƠNG 2 - XÂY DỰNG MÔ HÌNH KHẢO SÁT DAO ĐỘNG.....	23
2.1. ĐỐI TƯỢNG NGHIÊN CỨU	23
2.2. MÔ HÌNH KHẢO SÁT DAO ĐỘNG HỆ XE – GHẾ - NGƯỜI NGỒI	24
2.2.1. Các giả thiết trong mô hình.....	24
2.2.2. Mô hình hóa hệ dao động.....	25
2.2.3. Xây dựng phương trình dao động của hệ.....	27
2.3. XÂY DỰNG MÔ HÌNH DAO ĐỘNG NGƯỜI NGỒI TRÊN GHẾ	36
2.3.1. Các giả thiết.....	36
2.3.2. Xây dựng mô hình dao động người ngồi trên ghế	37
2.3.3. Xây dựng hệ phương trình vi phân mô tả dao động của hệ người.....	39
2.4. PHƯƠNG PHÁP, CHỈ TIÊU ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG	39
2.4.1. Phương pháp cảm nhận.....	39
2.4.2. Chỉ tiêu độ êm dịu chuyển động	40
2.5. XÁC ĐỊNH CÁC THÔNG SỐ CỦA MÔ HÌNH.....	42
2.6. KẾT LUẬN CHƯƠNG 2.....	43
CHƯƠNG 3 - KHẢO SÁT ẢNH HƯỞNG CỦA DAO ĐỘNG.....	45
3.1. CÁC KÍCH THÍCH MẶT ĐƯỜNG LÊN MÔ HÌNH	45
3.1.1. Kích thích sin lên mô hình	45
3.1.2. Kích thích xung lên mô hình.....	45
3.1.3. Kích thích ngẫu nhiên lên mô hình	46
3.1.4. Kích thích ISO 8608 lên mô hình	46
3.1.5. Thiết lập véc-tơ lực kích thích $\{F(t)\}$	47
3.2. KHẢO SÁT DAO ĐỘNG XE KHÁCH 29 CHỖ	48
3.2.1. Dịch chuyển và gia tốc của các tọa độ suy rộng.....	48
3.2.2. Các loại mặt đường	50
3.2.3. Phân tích đáp ứng tần số	51

3.2.4. Phân tích dao động vị trí ngồi	52
3.3. MÔ PHỎNG DAO ĐỘNG NGƯỜI NGỒI TRÊN GHẾ	53
3.3.1. Sơ đồ mô phỏng	53
3.3.2. Xác định tọa độ vị trí ghế ngồi.....	54
3.3.3. Tín hiệu kích thích lên ghế.....	55
3.3.4. Mô phỏng dao động người ngồi trên ghế.....	58
3.4. PHÂN TÍCH KẾT QUẢ	61
3.4.1. Giới hạn phân tích kết quả và hệ trục tọa độ trên người.....	61
3.4.2. Phân tích dao động từng bộ phận trên cơ thể người ngồi trên ghế	62
3.5. SO SÁNH KẾT QUẢ MÔ PHỎNG	69
3.5.1. Cơ sở so sánh	69
3.5.2. Mô hình hóa các vị trí ghế ngồi trên xe	72
3.5.3. Kết quả mô phỏng	74
3.5.4. So sánh kết quả mô phỏng	80
3.6. ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG CỦA DAO ĐỘNG ĐẾN NGƯỜI NGỒI ..	83
3.6.1. Những yêu cầu đánh giá.....	83
3.6.2. Đánh giá sự tương quan giữa các tọa độ suy rộng.....	83
3.6.3. Đánh giá lý thuyết ảnh hưởng của dao động xe khách đến người.....	87
3.7. KẾT LUẬN CHƯƠNG 3.....	88
CHƯƠNG 4 - NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM	89
4.1. MỤC TIÊU NGHIÊN VÀ CÁC ĐIỀU KIỆN THÍ NGHIỆM	89
4.2. ĐỐI TƯỢNG THÍ NGHIỆM.....	89
4.3. ĐƯỜNG THÍ NGHIỆM	89
4.4. THIẾT BỊ THÍ NGHIỆM	91
4.4.1. Bộ thu thập dữ liệu Dewesoft Sirius Mini 16 ACC và R2DB	91
4.4.2. Cảm biến gia tốc ba phương ICP 356A16	91
4.4.3. Cảm biến gia tốc Vibra-Metrics model 1001.....	92

4.4.4. Cảm biến vận tốc DS-IMU1	92
4.4.5. Cảm biến chuyển dịch HF-750	92
4.5. PHƯƠNG ÁN BỐ TRÍ CẢM BIẾN TRÊN XE.....	93
4.5.1. Phương án bố trí lắp đặt cảm biến	93
4.5.2. Sơ đồ đấu nối cảm biến.....	94
4.6. CÁC CHẾ ĐỘ THỬ NGHIỆM, LẮP ĐẶT CẢM BIẾN LÊN XE.....	94
4.7. THU THẬP VÀ XỬ LÝ SỐ LIỆU THỰC NGHIỆM	97
4.7.1. Thu thập dữ liệu	97
4.7.2. Xử lý các lỗi trong quá trình đo và xử lý dữ liệu.....	99
4.7.3. Phân tích kết quả thí nghiệm.....	101
4.8. KẾT LUẬN CHƯƠNG IV	113
KẾT LUẬN CHUNG VÀ HƯỚNG NGHIÊN CỨU TIẾP	115
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	118

DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU VÀ TỪ VIẾT TẮT

Viết tắt	Tiếng Anh	Tiếng Việt
ISO	International Organization for Standardization	Tổ chức quốc tế về tiêu chuẩn hóa
RMS	Root Mean Square	Giá trị bình phương trung bình
MBD	Multi Body System	Hệ nhiều vật
FEM	Finite Element Method	Phương pháp phần tử hữu hạn
ASA	Adaptive simed annealing	Thuật toán ủ mô phỏng thích ứng
HAV	Hand - Arm - Vibration	Dao động bộ phận
WBV	Whole – Body – Vibration	Dao động toàn thân
PSD	Power Spectral Density	Mật độ phổ năng lượng
NVH	Noise Vibration and Harshness	Ồn rung và khắc nghiệt
STE	Static Transmision Error	Lỗi truyền động tĩnh
FFT	Fast Fourier Transform	Biến đổi Fourier
DOF	Degrees Of Freedom	Bậc tự do
MSD	Mass Spring Damping	Mô hình giảm chấn lò xo khối lượng
CB	Sensor	Cảm biến
NCS	PhD Student	Nghiên cứu sinh
QCVN	Vietnamese Standards	Tiêu chuẩn Việt Nam
BS	British Standards	Tiêu chuẩn Anh
EN	European Norms	Tiêu chuẩn châu Âu
ODE	Ordinary Differential Equations	Phương trình vi phân thường
CAD	Computer-Aided Design	Thiết kế có sự hỗ trợ của máy tính
HTT	Suspension System	Hệ thống treo
ISBN	International Standard Book Number	Mã số tiêu chuẩn quốc tế

PVC	Polyvinyl Chloride	Nhựa nhiệt dẻo
ACC	Accessory	Nguồn ACC
ĐHCN	Hanoi University of Industry	Đại học Công nghiệp Hà Nội
BYT	Ministry of Health	Bộ y tế
CV	Coefficient of Variation	Hệ số biến đổi
MAE	Mean Absolute Error	Sai số tuyệt đối trung bình
MSE	Mean Squared Error	Sai số bình phương trung bình
RMSE	Root Mean Squared Error	Sai số căn trung bình bình phương
MAPE	Mean Absolute Percentage Error	Tỷ lệ sai số phần trăm trung bình

DANH MỤC CÁC ĐỒ THỊ VÀ HÌNH VẼ

Hình 1.1. Sơ đồ phân loại các dạng kích thích tương ứng với dạng.....	9
Hình 1.2. Hình ảnh các dạng kích thích.....	10
Hình 1.3. Mô hình 7 bậc tự do nghiên cứu dao động người ngồi trên xe.....	13
Hình 1.4 Sơ đồ tần số dao động riêng của các bộ phận trên cơ thể.....	17
Hình 2.1 Xe khách County 29 chỗ.....	23
Hình 2.2 Hai vị trí người ngồi trong khảo sát.....	24
Hình 2.3 Mô hình dao động xe khách xét đến hai vị trí ngồi	25
Hình 2.4 Mô hình dao động người ngồi trên ghế xe khách.	37
Hình 2.5. Giới hạn gia tốc dao động thẳng đứng và tần số dao động người khi ngồi trên xe theo tiêu chuẩn ISO 2631- 1.	41
Hình 2.6 Hệ thống treo xe Bus County.....	42
Hình 2.7 Sơ đồ dao động hệ thống treo trên xe	42
Hình 3.1 Các biên dạng mặt đường theo ISO 8608:2016.....	46
Hình 3.2 Biên độ dịch chuyển thẳng đứng của dao động xe	49
Hình 3.3 Gia tốc dao động trên xe khách.....	49
Hình 3.4 Đồ thị kích thích mặt đường dạng sin, xung, ngẫu nhiên	50
Hình 3.5 Đồ thị đáp ứng tần số của q_1, q_2, q_3	51
Hình 3.6 Đồ thị dao động của hai tọa độ suy rộng q_8, q_9	52
Hình 3.7 Đồ thị phổ tần số của gia tốc q_8, q_9	53
Hình 3.8 Sơ đồ Simulink mô phỏng chung dao động xe – người ngồi	53
Hình 3.9. Sơ đồ tính chuyển vị tại vị trí ghế ij trên sàn xe	54
Hình 3.10 Sơ đồ Simulink khối tín hiệu kích thích lên ghế phụ.....	55
Hình 3.11 Đồ thị kích thích lên ghế phụ khi xe chạy qua mấp mô xung	56
Hình 3.12 Đồ thị so sánh chuyển vị và vận tốc dao động trên 2 vị trí ghế, vận tốc xe chạy 40 km/h	58
Hình 3.13 Sơ đồ khối Simulink mô phỏng dao động người ngồi trên ghế.....	59

Hình 3.14 Đồ thị kết quả mô phỏng dao động trên người ngồi hàng ghế 3 ...	60
Hình 3.15 Biên độ dao động cơ thể người theo vị trí ghế.....	63
Hình 3.16 Sơ đồ Simulink phân tích phổ công suất dao động.....	65
Hình 3.17 Phổ tần số dao động trên ngực người ngồi ghế hàng 3.....	66
Hình 3.18 Đồ thị dao động trong miền tần số trên đầu ở 2 vị trí ghế ngồi.....	67
Hình 3.19 Đồ thị dao động trong miền tần số trên đầu ở 2 vị trí ghế ngồi.....	68
Hình 3.20 Đồ thị dao động trong miền tần số trên đầu ở 2 vị trí ghế.....	68
Hình 3.21 Thiết kế những điểm khảo sát trên người về gia tốc thẳng đứng ..	71
Hình 3.22 Mô hình hóa FEM xe khách 29 chỗ.....	72
Hình 3.23 Vị trí đặt tải trên mô hình.....	73
Hình 3.24 Đồ thị tần số - biên độ của tín hiệu từ mấp mô mặt đường	74
Hình 3.25 Giao diện mô phỏng số trong phần mềm Ansys	75
Hình 3.26 Kết quả mô phỏng dao động đầu người ngồi trên ghế.....	76
Hình 3.27 Kết quả mô phỏng dao động ngực người ngồi trên ghế.....	78
Hình 3.28 Kết quả mô phỏng dao động đùi người ngồi trên ghế	79
Hình 3.29 Đồ thị so sánh phương pháp mô phỏng dao động người	82
Hình 3.30 Biểu đồ ma trận tương quan giữa q_1, q_2, \dots, q_9	85
Hình 3.31 Đồ thị phổ tần số của q_8 và q_9	86
Hình 3.32 Phân tích phổ công suất của q_8 và q_9	87
Hình 4.1 Xe khách County 29 chỗ thí nghiệm.....	89
Hình 4.2 Mấp mô mặt đường biên dạng hình sin	90
Hình 4.3 Mấp mô mặt đường biên dạng hình xung	90
Hình 4.4 Vị trí đường thử nghiệm tại Tây Tựu, Hà Nội.....	90
Hình 4.5 Bộ thu thập dữ liệu Dewesoft Sirius 16ACC và R2DB.....	91
Hình 4.6 Cảm biến gia tốc 3 trục ICP 356A16.....	91
Hình 4.7 Cảm biến gia tốc Vibra-Metrics model 1001.....	92
Hình 4.8 Bộ cảm biến vận tốc DS-IMU1.....	92

Hình 4.9 Bộ cảm biến đo chuyển dịch HF-750	92
Hình 4.10 Sơ đồ lắp đặt các cảm biến trên xe và người	93
Hình 4.11 Sơ đồ vị trí đo trên người	93
Hình 4.12 Sơ đồ vị trí đo trên ghế ngồi.....	93
Hình 4.13 Sơ đồ đấu nối các cảm biến.....	94
Hình 4.14 Lắp đặt cảm biến HF - 750.....	95
Hình 4.15 Lắp đặt cảm biến đo vận tốc DS-IMU1	95
Hình 4.16 Lắp đặt cảm biến đo gia tốc ba phương ICP 356A16.....	96
Hình 4.17 Lắp đặt cảm biến đo gia tốc một phương Vibra-Metrics model....	96
Hình 4.18 Lắp đặt bộ thu thập dữ liệu Dewesoft Sirius 16ACC và R2DB	96
Hình 4.19 Xe thử nghiệm chạy qua mấp mô đơn hình sin	97
Hình 4.20 Xe thử nghiệm chạy qua mấp mô đơn hình xung	97
Hình 4.21 Giao diện kết quả thí nghiệm theo thời gian thực.....	99
Hình 4.22 Góc hiệu chỉnh cảm biến đo dao động.....	100
Hình 4.23 Bảng dạng kết quả thí nghiệm.....	101
Hình 4.24 Đồ thị gia tốc RMS trên các bộ phận cơ thể theo phương Z người ngồi hàng ghế phụ, kích thích sin, $V = 40$ km/h	102
Hình 4.25 Đồ thị gia tốc RMS trên các bộ phận cơ thể theo phương Z người ngồi hàng ghế phụ, kích thích sin, $V = 60$ km/h.	103
Hình 4.26 So sánh dữ liệu trước và sau khi lọc nhiễu	106
Hình 4.27 Biểu đồ hộp đánh giá độ phân tán của tín hiệu	107
Hình 4.28 Đồ thị biến thiên dữ liệu thí nghiệm	107
Hình 4.29 Biểu đồ lệch chuẩn động của các biến thí nghiệm.....	108
Hình 4.30 Bản đồ phân tích tương quan giữa các biến thí nghiệm.....	109
Hình 4.31 Đồ thị biểu diễn ảnh hưởng của dao động xe đến người ngồi	111
Hình 4.32 Đồ thị kết quả thí nghiệm và kết quả mô phỏng của q_1	112

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 1.1 Tóm tắt các đặc điểm chính của ba loại mô hình nêu trên	21
Bảng 2.1 Các bậc tự do và tọa độ suy rộng của hệ	31
Bảng 2.2 Các thông số của mô hình dao động người ngồi trên ghế	38
Bảng 3.1 a Danh sách các file kết quả khảo sát tín hiệu kích thích	57
Bảng 3.2 a Danh sách các file kết quả khảo sát dao động trên đầu người.....	60
Bảng 3.3 Thông số dao động ở vị trí đầu người ngồi trên ghế phụ	62
Bảng 3.4 Thống kê các giá trị gia tốc dao động người theo RMS (m/s^2).....	64
Bảng 3.5 Các điều kiện đánh giá độ êm dịu ô tô	64
Bảng 3.6 Gia tốc dao động đầu người ngồi ghế phụ, kích thích Sin	77
Bảng 3.7 Gia tốc dao động ngực người ngồi ghế phụ, kích thích Sin	78
Bảng 3.8 Gia tốc dao động đùi người ngồi ghế phụ, kích thích Sin	80
Bảng 3.9 Các phương trình hồi quy và giá trị của R^2	82
Bảng 3.10 Ma trận tương quan giữa các tọa độ suy rộng	84
Bảng 4.1 Các chế độ thử nghiệm	94
Bảng 4.2 Góc hiệu chỉnh gắn cảm biến đo dao động trên người.....	101
Bảng 4.3 Ma trận tương quan giữa các yếu tố	109
Bảng 4.4 Bảng tính toán sai số trong kết quả thí nghiệm và mô phỏng	113

MỞ ĐẦU

Từ khi ra đời cho đến nay, ngành công nghiệp ô tô trong nước luôn có những bước phát triển không ngừng, ngày càng bắt nhịp với sự phát triển của các nước trong khu vực và trên thế giới. Trong đó sản xuất ô tô trong lĩnh vực vận tải nói chung và vận tải hành khách nói riêng cũng rất được các doanh nghiệp, chính phủ quan tâm đầu tư phát triển. Ngành sản xuất ô tô đang từng bước trở thành mũi nhọn của nền kinh tế.

Các nước trên thế giới hiện nay, đặc biệt là các nước có nền khoa học kỹ thuật phát triển thì việc sản xuất ô tô ngày càng hiện đại và hoàn thiện, đã đạt được những thành tựu vượt bậc, ô tô trở thành phương tiện phổ biến vận chuyển hành khách và hàng hoá cho nền kinh tế của đất nước. Đối với quốc gia Việt Nam, số ô tô cũng đang gia tăng nhiều về số lượng cũng như chất lượng theo đà tăng trưởng và phát triển của nền kinh tế. Để đáp ứng với lưu lượng giao thông của số lượng xe ô tô không ngừng tăng lên, thì mạng lưới đường xá giao thông ngày càng được nâng cấp và mở rộng. Với sự gia tăng về số lượng ô tô nói chung và ô tô vận tải hành khách nói riêng, thì yếu tố chất lượng sử dụng và an toàn cho phương tiện tham gia giao thông là vấn đề rất được quan tâm cho những nhà sản xuất ô tô.

Ô tô chuyển động trên đường khi tham gia giao thông thường phát sinh dao động. Những dao động này sẽ ảnh hưởng đến người lái và hành khách trên xe. Những nghiên cứu dao động của xe ô tô cho thấy sự tác động của nó ảnh hưởng nhiều đến sức khoẻ con người như bệnh về thần kinh và não bộ. Nếu dao động của xe nằm ngoài phạm vi cho phép sẽ ảnh hưởng đến tâm lý, gây ra trạng thái xấu cho người lái xe và người ngồi trên xe từ đó có thể dẫn đến những nguy hiểm khi tham gia giao thông.

Dao động của ô tô không những phụ thuộc vào kết cấu của ô tô mà còn phụ thuộc vào điều kiện đường xá, đặc trưng từng loại mặt đường bằng phẳng

hay mấp mô. Trong quá trình ô tô chuyển động, yếu tố kích động chủ yếu đến dao động của xe là những thay đổi của gập gềnh, mấp mô của mặt đường. Đề tài nghiên cứu ảnh hưởng của dao động xe đến dao động của người ngồi trên xe nhằm nâng cao chất lượng xe làm cơ sở tăng độ êm dịu cho xe và người ngồi trên xe.

Do đó việc đề tài lựa chọn hướng nghiên cứu về "*Nghiên cứu ảnh hưởng dao động xe khách đến người ngồi trên xe*" là cấp thiết để từ đó có thể đưa ra những ý kiến khoa học đóng góp cho các nhà sản xuất và người sử dụng nhằm nâng cao hơn nữa chất lượng phục vụ của chủng loại xe này khi đưa vào sử dụng, góp phần phát triển kinh tế xã hội đất nước và nâng cao chất lượng đời sống của người dân.

Mục tiêu của luận án

Mục tiêu của luận án là nghiên cứu trên xe khách thực tế, bằng lý thuyết và thực nghiệm để khảo sát ảnh hưởng dao động xe đến người ngồi trên xe dưới các tác động của mặt đường và điều kiện vận hành cụ thể. Từ các kết quả khảo sát tạo cơ sở đề xuất ghế ngồi xe khách sản xuất và lắp ráp tại Việt Nam.

Đối tượng nghiên cứu

Lựa chọn xe khách 29 chỗ ngồi được sản xuất và lắp ráp trong nước làm đối tượng nghiên cứu. Đây là loại xe đang được sử dụng phổ biến, chiếm tỷ trọng lớn trong hoạt động vận tải hành khách tại Việt Nam, đồng thời phù hợp với điều kiện khai thác thực tế, giúp đảm bảo tính điển hình và khả năng ứng dụng của kết quả nghiên cứu.

Phạm vi nghiên cứu

Luận án tập trung xây dựng và phân tích mô hình dao động không gian của xe ảnh hưởng đến người ngồi. Hệ dao động Xe – ghế - người ngồi chỉ xét

đến dao động theo phương thẳng đứng (trục OZ), không xét đến ảnh hưởng của theo phương dọc và ngang (OX, OY).

Trong giới hạn của đề tài, luận án chủ yếu đánh giá đặc tính êm dịu chuyển động của xe và sự thoải mái của người ngồi. Các chỉ tiêu liên quan đến an toàn chuyển động hay ổn định điều khiển của xe không thuộc phạm vi xem xét của nghiên cứu này.

Nội dung nghiên cứu

Từ mục tiêu đặt ra, luận án sẽ tiến hành thực hiện các nội dung sau:

+ Thiết lập mô hình không gian khảo sát dao động của xe khách hoạt động trên mặt đường gần với thực tế nhằm xác định các giá trị chuyển vị, vận tốc và gia tốc tại các vị trí lắp ghế trên sàn xe để lấy tín hiệu đầu vào tác động vào mô hình dao động của ghế - người ngồi trên ghế. Các loại mặt đường khác nhau gồm: hình sin, mặt đường hình xung, các dạng mặt đường ngẫu nhiên và theo tiêu chuẩn ISO 8608 được sử dụng.

+ Thiết lập mô hình dao động của ghế - người ngồi trên ghế để xác định các giá trị gia tốc dao động tại ghế và các bộ phận trên cơ thể của người ngồi trên ghế.

+ Tiến hành thực nghiệm để kiểm chứng mô hình.

+ So sánh với tiêu chuẩn đánh giá mức độ ảnh hưởng của dao động xe đến người ngồi trên xe. Chỉ tiêu đánh giá trong tiêu chuẩn được tính toán theo giá trị bình phương trung bình RMS trong tiêu chuẩn ISO 2631-1.

Phương pháp nghiên cứu

Kết hợp phương pháp nghiên cứu lý thuyết và phương pháp nghiên cứu thực nghiệm:

+ Phương pháp nghiên cứu lý thuyết: Xây dựng mô hình xe khách sát với xe thực tế. Sử dụng phương trình Lagrange loại II để thiết lập các mô hình khảo

sát dao động không gian của xe khách và mô hình người ngồi trên ghế. Sử dụng phần mềm mô phỏng với các tác động từ bên ngoài: Biên dạng mặt đường theo tiêu chuẩn, các dãy vận tốc vận tốc cụ thể để giải và nhận kết quả đánh giá dao động xe và người ngồi trên xe.

+ Phương pháp nghiên cứu thực nghiệm: Tiến hành thí nghiệm đo đạc thực tế trên đường giao thông theo điều kiện tương đương với khảo sát để đo các thông số dao động Xe – Ghế - Người ngồi.

So sánh kết quả để đánh giá độ chính xác của mô hình lý thuyết. Đánh giá kết quả nghiên cứu về ảnh hưởng của dao động xe khách đến người ngồi trên xe.

Ý nghĩa khoa học và thực tiễn

Nghiên cứu ứng dụng phương pháp mô hình hóa và mô phỏng bằng phương pháp động lực học không gian, sử dụng phần mềm chuyên dụng Matlab Simulink và Ansys Workbench, xác định các thông số ảnh hưởng đến người ngồi trên xe, đánh giá dao động xe có kiểm chứng bằng thực nghiệm nhằm đề xuất các giải pháp nâng cao chất lượng độ êm dịu chuyển động của xe, người ngồi trên xe.

Xây dựng phương pháp nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm. Kết quả nghiên cứu cho phép đề xuất một số giải pháp nhằm giảm dao động khi thiết kế, từng bước hoàn thiện phương pháp luận nghiên cứu thiết kế thân vỏ xe ô tô theo hướng hiện đại như các nước tiên tiến đang dùng.

Điểm mới của luận án

Xây dựng mô hình khảo sát dao động Xe – Ghế - Người ngồi.

Kết hợp mô hình khảo sát dao động Ghế - Người ngồi và mô hình khảo sát dao động không gian của xe khách 29 chỗ.

Sử dụng kết hợp phần mềm chuyên dụng Matlab Simulink và Ansys Workbench trong mô phỏng.

Xây dựng phương pháp nghiên cứu thực nghiệm xác định ảnh hưởng của các biên dạng mặt đường khác nhau và các điều kiện khai thác khác nhau ở những vận tốc xe chạy khác nhau.

Bố cục của luận án

Luận án được trình bày theo bố cục gồm 04 chương:

Chương 1: Tổng quan vấn đề nghiên cứu dao động của ô tô khách

Chương 2: Xây dựng mô hình khảo sát dao động hệ Xe - Ghế - Người ngồi

Chương 3: Khảo sát ảnh hưởng của dao động đến người ngồi trên xe

Chương 4: Nghiên cứu thực nghiệm

Kết luận chung và hướng nghiên cứu tiếp theo của luận án

CHƯƠNG 1 - TỔNG QUAN VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU DAO ĐỘNG CỦA Ô TÔ KHÁCH

Các dao động xảy ra gây ra những thiệt hại cơ học đối với xe và người ngồi. Đối với con người, các dao động gây ra những phản ứng sinh lý và phản ứng chủ quan. Phản ứng sinh lý có tính khách quan là khi tiếp xúc với dao động trong thời gian nhất định sẽ gây ra các tác động sinh lý như tăng nhịp tim, tăng căng cơ, các tác động đối với đĩa đệm cột sống, các tĩnh mạch ngoại vi của hệ thống tiêu hóa và bộ phận sinh sản nữ.

Xe – ghế - người ngồi là một quan hệ cấu trúc để các dao động truyền đến cơ thể người từ các vị trí trên đệm ghế – mông và thân – tựa lưng. Tải gây ra dao động gọi là tải trọng dao động.

Trong quá trình chuyển động trên đường không bằng phẳng, do sự chếp hình của bề mặt bánh xe làm cho ô tô bị dao động và gây ra tải trọng dao động lớn. Tải trọng này ảnh hưởng xấu đến tính êm dịu chuyển động của xe, đến mức độ thoải mái cho người và sự an toàn cho hàng hóa trên xe, đồng thời cũng làm giảm tuổi bền các chi tiết của ô tô. Dao động nói chung mang tính trực quan có thể tính toán và trực tiếp đo lường được. Khi dao động truyền trong môi trường rắn thân xe gồm các chi tiết, cụm tổng thành dưới tác dụng của các ngoại lực và nội lực thay đổi sẽ có những biên độ và tần số khác nhau. Dao động ô tô là một thuộc tính quan trọng và là chỉ tiêu chất lượng để phát triển sản phẩm xe. Một chiếc xe có chất lượng dao động tốt thường mang lại sự hài lòng của khách hàng cao hơn nhiều.

Đối với người ngồi, dao động được đánh giá độc lập đối với từng bộ phận trên cơ thể. Có hai loại dao động trên người ngồi là dao động cánh tay và dao động toàn thân. Đánh giá đầy đủ các loại dao động này sẽ không có kết quả đạt độ chính xác cao do sự phức tạp của cấu trúc cơ thể và phổ biến sử dụng khái niệm “Rung” [1].

Rung toàn thân (WBV) gây ra các ảnh hưởng sức khỏe khác như: Đau lưng dưới, tổn thương đốt sống và đĩa đệm, cơ lưng do lác; Say tàu xe, tổn thương xương, giãn tĩnh mạch, tình trạng tim, sự thay đổi huyết áp do dao động. Tình trạng đau dạ dày và tiêu hóa, những thay đổi về hô hấp, nội tiết và trao đổi chất, suy giảm thị lực, tiền đình, tổn thương cơ quan sinh sản. Khi con người bị rung toàn thân càng lâu thì nguy cơ ảnh hưởng đến sức khỏe và rối loạn cơ bắp càng cao.

Theo tiêu chuẩn châu Âu, giá trị giới hạn gia tốc dao động tốt nhất là $\leq 0,5 \text{ m/s}^2$ [2], [3].

Cột sống và cơ xương nằm ngay trên đường truyền dao động phải chịu trực tiếp “tải trọng dao động” và là trường hợp nguy hiểm nhất vì ngay cả khi giới hạn chỉ xét đến hướng thẳng đứng, cột sống vẫn dao động theo các hướng khác nhau. Những ảnh hưởng trực tiếp của dao động đến người ngồi trên xe thông qua ghế ngồi làm cho cả cơ thể hoặc từng bộ phận dao động theo, gây ra những biến đổi về tâm sinh lý và là nguyên nhân của sự xuất hiện các bệnh về rung trên người. Những dao động ở dải tần số thấp từ rất nhỏ đến dưới 100 Hz là những dao động con người cảm nhận được bằng xúc giác, thường do hệ thống treo gây nên. Các dao động ở tần số cao gồm có dao động của thân vỏ xe, dao động của hệ thống truyền lực, bánh xe tiếp xúc với mặt đường, tiếng nổ của động cơ... Thông thường các dao động tần số thấp chiếm ưu thế trong phổ dao động ảnh hưởng xấu đến cơ thể. Khi tần số dao động trùng với tần số dao động tự nhiên của các cơ quan riêng lẻ con người sẽ có hại nhất vì đã xảy ra hiện tượng cộng hưởng dao động. Dao động được truyền đến cơ thể người tại thời điểm tiếp xúc với vật rung: khi tác động lên chân tay và trên toàn bộ cơ thể thì xảy ra rung cục bộ và cũng ảnh hưởng đến bộ máy xương khớp, cơ bắp, tuần hoàn ngoại vi, thị giác, thính giác [4], [5], [6], [7], [8].

Rung cánh tay (HAV) Do tiếp xúc trực tiếp thời gian dài với các dụng cụ cầm tay sẽ gây ra một loạt các bệnh tật như: Ngón tay đau nhức, hội chứng lạm dụng nghề nghiệp, tổn thương thần kinh cảm giác, tổn thương cơ và khớp ở bàn tay và cánh tay. Tổn thương phụ thuộc vào: Thời gian tiếp xúc (s), tần số rung (Hz), biên độ của dao động [9].

Dao động cơ học gây ra các tác động đến cơ thể người ngồi, các tác động của dao động cơ học lên đầu và thắt lưng được nghiên cứu vì những bộ phận này của cơ thể con người thường là những vùng bị ảnh hưởng nhiều nhất. Khi tiếp xúc lâu dài với các dao động của xe sẽ làm ảnh hưởng trực tiếp hoặc gián tiếp đến sức khỏe người ngồi trên xe [10], [11].

Như vậy, dao động ô tô và dao động người ngồi trên xe có liên quan trực tiếp đến nhau. Nghiên cứu dao động ô tô ảnh hưởng đến người ngồi trên xe là cần thiết, có ý nghĩa khoa học và thực tiễn đối với bất kỳ mẫu xe nào, từ những mẫu xe trong quá khứ, hiện đại và xe trong tương lai.

1.1. CÁC NGUỒN GÂY DAO ĐỘNG CHỦ YẾU CỦA XE

Có nhiều nguồn khác nhau gây ra dao động của xe, đó là độ mấp mô mặt đường, sự mất cân bằng của động cơ khi động cơ khởi động, sự mất cân bằng của các chi tiết quay trong hệ thống truyền lực v.v... [12], [13].

Các ngoại lực xuất hiện trong quá trình của ô tô khi tăng tốc, khi phanh, quay vòng, các mấp mô từ mặt đường, cản gió khi chuyển động. Cho đến nay mấp mô biên dạng đường là nguyên nhân chính gây ra dao động của ô tô.

1.1.1. Sự mất cân bằng của động cơ

Sự mất cân bằng của động cơ trong quá trình động cơ khởi động sẽ là một trong các nguyên nhân làm cho xe bị dao động. Nguồn gây ra dao động của động cơ có thể do dao động từ bên trong hoặc bên ngoài. Dao động bên trong là dao động của các thành phần bên trong động cơ, do quán tính của các bộ phận chuyển động và áp suất thay đổi của quá trình đốt cháy gây ra. Dao động

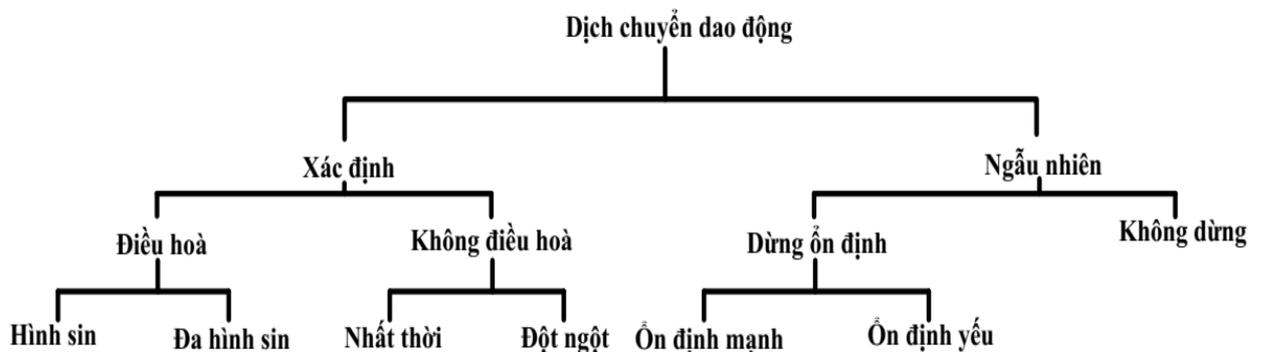
bên ngoài là dao động của toàn bộ hệ thống động cơ như một khối, do mô men không cân bằng, mô men quán tính hoặc mô men xoắn đầu ra thay đổi [13].

1.2.2. Sự mất cân bằng của hệ thống truyền lực

Do các khe hở và độ lệch tâm sẵn có của các bánh răng hộp số, trục các đăng, cầu chủ động và cụm vi sai ngay từ khi lắp ráp và khe hở này tăng lên cùng tuổi thọ của xe, sẽ gây ra độ mất cân bằng và lực ly tâm làm cho cả hệ thống bị dao động và truyền đến thân xe làm xe dao động. Các trục sẽ bị uốn cong gây ra hiệu ứng mỏi tích lũy và có thể dẫn đến hỏng chi tiết hoặc trục [13].

1.1.3. Độ mấp mô mặt đường

Mặt đường mấp mô gây ra dịch chuyển thẳng đứng của xe và gây ra các dao động có tần số phụ thuộc vào quan hệ giữa độ cứng của lò xo và khối lượng của hệ thống treo, loại hình dáng mấp mô mặt đường. Trong thực tế có nhiều dạng tín hiệu kích thích dao động, tác động lên xe ứng với các điều kiện địa hình, trạng thái kỹ thuật khác nhau của xe khi vận hành thực tế gặp phải là rất đa dạng. Các dạng kích thích có thể được phân thành một trong hai nhóm tương ứng với sự dịch chuyển dao động được miêu tả trên hình 1.1. Các dạng kích thích tổng quát phân loại có thể quy về hai dạng kích thích chính tương ứng với hai nhóm dịch chuyển dao động là dạng kích thích xác định và dạng kích thích ngẫu nhiên [14].

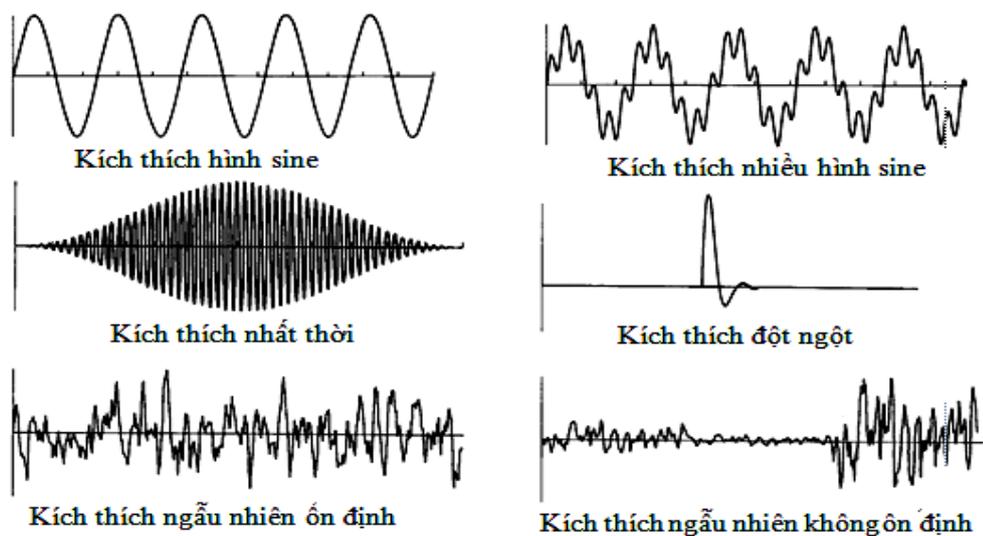


Hình 1.1. Sơ đồ phân loại các dạng kích thích tương ứng với dạng dịch chuyển dao động

Trong đó kích thích điều hòa hình sin được ứng dụng sử dụng khá phổ biến trong quá trình nghiên cứu lý thuyết cũng như quá trình nghiên cứu thực nghiệm. Trong phân tích biên độ tần số, kích thích hình sin được thể hiện đặc trưng cho một giá trị tần số và một biên độ, là một dạng kích thích cơ bản và các dạng kích thích khác có thể được hình thành bằng cách tổ hợp khác nhau từ các dạng kích thích hình sin khác nhau [14], [15], [16], [17], [18].

Tiêu chuẩn ISO 8608:2016 là tiêu chuẩn về mấp mô mặt đường được sử dụng phổ biến nhất hiện nay trong các tính toán động lực học ô tô. Tiêu chuẩn này phân biệt các dạng đường theo mật độ phổ năng lượng (PSD) và chia chúng thành 8 loại với ký hiệu quy ước từ A đến H [18].

Hình ảnh một số các kích thích nêu trên hình 1.2



Hình 1.2. Hình ảnh các dạng kích thích.

1.2. TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU Ở NGOÀI NƯỚC VÀ TRONG NƯỚC

1.2.1. Tình hình nghiên cứu ở nước ngoài

1.2.1.1. Những nghiên cứu về dao động ô tô

Những nghiên cứu ở ngoài nước về dao động ô tô thường theo hướng NVH bao gồm:

- Động học và động lực học dao động để xác định nguồn gây dao động, ảnh hưởng đến độ êm dịu chuyển động và độ bền của xe. Các nghiên cứu này thường sử dụng phương pháp động lực học hệ nhiều vật (MBD) hoặc phần tử hữu hạn (FEM).

- Giải pháp giảm dao động. Các nghiên cứu này thường sử dụng phương pháp mô phỏng số và thực nghiệm.

Theo kết quả nghiên cứu của các công trình đều chỉ ra rằng, người ngồi không chỉ chịu ảnh hưởng của dao động cơ học mà còn cả tiếng ồn trên xe [19], [20].

Ứng dụng phương pháp động học hệ nhiều vật (MBD) để phân tích và xác định giá trị NVH cần có các điều kiện thử nghiệm, môi trường và lái xe phải giống nhau và có thể lặp lại. Phương pháp nghiên cứu đã mô phỏng một mô hình với các điều kiện của phương tiện cụ thể để xác định theo cơ chế nhân quả và áp dụng kết quả vào một xe thực tế để kết luận khách quan và chủ quan. Độ chính xác của phương pháp này phụ thuộc vào các giả thiết kỹ thuật được đưa ra khi xây dựng mô hình [21].

Kiểm soát dao động từ thiết kế là một trong những mục tiêu chính trong thiết kế chế tạo ô tô, vì dao động ảnh hưởng đến chất lượng xe, khả năng lái và sự thoải mái của người ngồi trên xe. Kiểm soát dao động bằng cách giảm độ rung tại các nguồn cũng như trên đường truyền bao gồm các phần tử cấu trúc thân xe, tấm thân và cửa sổ. Để kiểm soát dao động có một số giải pháp tiêu biểu [22].

- Gia cố cục bộ các bộ phận thân xe, tăng giảm chấn dọc theo đường truyền bằng cách thêm xương và các chất làm cứng khác ở những khu vực của kết cấu tấm dễ bị dao động.

- Chèn thêm kết cấu polyme tại các khu vực cục bộ của các phần tử cấu trúc thân xe như cột B, sàn. Kết cấu polyme gồm các bọt epoxy có thể giãn nở

trong môi trường polyamit, khi nung nóng, bột epoxy phản ứng nhiệt sẽ nở ra, đóng rắn và liên kết với vật liệu của cấu trúc thân vỏ xe. Vật liệu polyme được gia cố bằng sợi có khả năng giảm chấn cao hơn so với thép và hợp kim nhôm, tuy nhiên, nó chưa đủ để kiểm soát dao động hiệu quả. Để tăng hiệu quả thường thêm các miếng mastic gồm cao su butyl và silicone, bột, v.v. vào sàn, vách ngăn, bảng điều khiển, miếng đệm và những vị trí tương tự.

- Bổ sung một lớp vật liệu dẻo mỏng có hệ số giảm chấn cao như tấm lót nhựa đường và chất đàn hồi, trên một mặt của tấm thân xe cũng có thể tăng khả năng giảm chấn. Trong trường hợp này, giảm chấn xảy ra thông qua sự tiêu tán năng lượng trong biến dạng mở rộng của lớp nhớt đàn hồi.

- Tác động đến đường truyền dao động: Giảm sự truyền dao động từ động cơ và các nguồn khác từ bên ngoài xe đến nội thất xe bằng cách đặt vật cản trên đường truyền dao động hoặc hấp thụ dao động dọc theo đường truyền. Để tác động có hiệu quả, vật liệu cản phải có kích thước hiệu dụng lớn nên đây không phải là giải pháp mong muốn vì trọng lượng xe sẽ tăng lên. Có thể giảm trọng lượng xe bằng cách giảm độ dày và thay thế vật liệu bằng vật liệu có mô đun đàn hồi thấp hơn.

- Ứng dụng vật liệu mới tăng tính bền, khả năng kinh tế, an toàn, độ tin cậy cao, giảm trọng lượng xe, giảm nồng độ khí thải CO₂, tăng hiệu quả năng lượng [21].

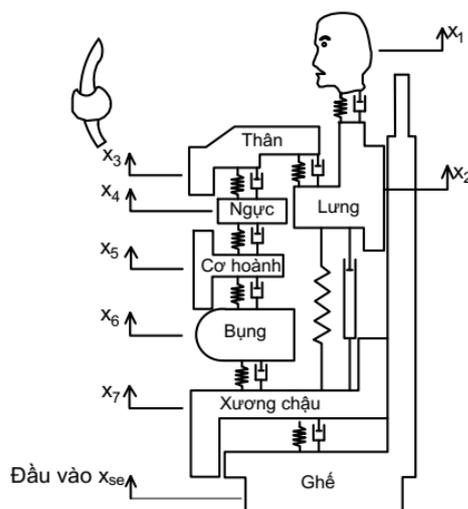
Ảnh hưởng của các thông số hình học, kỹ thuật lắp ráp, đặc tính của vật liệu và chất bôi trơn của truyền động bánh răng trong hệ thống truyền lực đến lỗi của đường truyền tĩnh (STE) làm cho biên độ dao động cao gây ra giảm các hiệu ứng phi tuyến gây rung ồn. Giải pháp kiểm soát STE là sử dụng phương pháp số mô phỏng và kiểm tra đánh giá quá trình hoạt động của hệ thống truyền lực [23].

Ảnh hưởng của động cơ đến dao động ô tô được tính đến ngay trong thiết kế từ giai đoạn ý tưởng và phát triển trong sản xuất bằng phương pháp phân tích phần tử hữu hạn, mô phỏng dựa vào tần số và dạng dao động tự nhiên. Độ chính xác mô phỏng tăng lên do các đặc tính vật lý của vật liệu, điều kiện biên của kết cấu, loại và vị trí của điều kiện biên được xác định ngay trong quá trình thiết kế động cơ [24].

1.2.1.2. Nghiên cứu về dao động người ngồi trên xe

Bằng nghiên cứu thực nghiệm trên xe du lịch với tốc độ 70 km/h đã đưa ra kết quả về giá trị biên độ dao động giữa hệ thống treo và khối lượng được treo khác nhau trên mười lần. Sử dụng biến đổi Fourier trong Matlab để phân tích gia tốc của dao động khi xuất hiện cộng hưởng trong khoảng tần số 10-12 Hz tại 4 điểm chân ghế của người lái và hành khách cho thấy rằng đây là những vị trí tín hiệu truyền lên cơ thể người ngồi nhiều nhất [25].

Mức độ rung của ghế ngồi và các tác động của nó lên các bộ phận khác nhau của cơ thể người được đặc trưng bằng mô hình toán học và mô phỏng số. Mô hình bảy bậc tự do (7-DOF) khi chịu lực kích động từ ghế đến phần tiếp xúc của đùi thường được sử dụng trong quá trình nghiên cứu động lực học của người ngồi trên ô tô với các dịch chuyển theo phương thẳng đứng hình 1.3 [26].



Hình 1.3. Mô hình 7 bậc tự do nghiên cứu dao động người ngồi trên xe

Phân tích mối quan hệ giữa các thông số gia tốc và dao động sẽ xác định được sự phân bố dao động tại các vị trí khác nhau của ô tô [27].

Sử dụng thuật toán di truyền tìm kiếm toàn cục ngẫu nhiên dựa trên các biến của quá trình tiến hóa sinh học tự nhiên, theo thuyết tiến hóa của Darwin (1809-1882) làm phương pháp nghiên cứu tối ưu các thông số hệ thống treo trên mô hình dao động $\frac{1}{2}$ và ghế ngồi 8 bậc tự do của một mẫu xe cụ thể để thiết kế ghế ngồi và hệ thống treo. Kết quả đạt được giảm thiểu dao động của hệ thống treo và ghế để giảm dao động đến con người và để đạt được sự thoải mái tốt nhất trong khi lái xe [28].

Phân tích quá trình truyền dao động của ghế lên người ngồi trên xe bằng mô phỏng số đã nhận định rằng cường độ dao động tăng lên khi giá trị tần số giảm. Khảo sát vùng tần số cộng hưởng của ghế khi bị rung cho thấy vật liệu chế tạo đệm ghế sẽ tiêu tán năng lượng và các loại ghế khác nhau sẽ có khả năng hấp thụ năng lượng khác nhau [29].

Một nghiên cứu mô phỏng khác trong môi trường phần tử hữu hạn với bảy tư thế ngồi trên ô tô khác nhau với chế độ đầu tiên ở tần số 10 Hz cho thấy sự phân bố áp lực thay đổi giữa đùi và ghế dẫn lên cột sống làm biến dạng các phần tử cứng của khớp xương và các đĩa đệm giữa các đốt sống [30].

Trong nghiên cứu xác định sự phân bố hướng truyền dao động lên thân xe do mặt đường gồ ghề đã sử dụng chiều dài quãng đường xe chạy thử tối thiểu 1100 mét, mỗi bước sóng của mấp mô mặt đường là 5 mét, chiều cao mấp mô đều có giá trị trung bình 0,025 mét.

Kết quả đã đưa ra những giá trị gần đúng về biên độ, tần số dao động thân xe phù hợp ngay khi thiết kế xe mới [31].

1.2.2. Tình hình nghiên cứu trong nước

Mức độ thoải mái của người ngồi trên xe khi di chuyển nói chung sẽ phụ thuộc vào nhiều các yếu tố như bố trí chung trên xe: khoảng không gian của

hành khách, số lượng ghế, kích thước ghế, khoảng không gian lối đi chung, vị trí ghế ngồi. Các yếu tố thuộc nhân trắc học: chiều cao và chiều rộng người, màu sắc, nhiệt độ, độ ẩm, âm thanh...

1.2.2.1. Về lĩnh vực dao động ô tô

Lĩnh vực dao động ô tô trong nước có khá nhiều các công trình đã công bố. Hầu hết những công trình này được công bố trong lĩnh vực đào tạo. Một trong số các công trình tiêu biểu có thể tham khảo sử dụng liên quan đến dao động gồm:

Công trình của tác giả Đào Ngọc Điệp, Nghiên cứu rung ồn xe 8 chỗ Mefa 5 sản xuất lắp ráp tại Việt Nam, Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Thư viện Quốc Gia Việt Nam (2010). Trong công trình này tác giả sử dụng phương pháp phân tử hữu hạn mô phỏng xe con 8 chỗ Mefa 5 lắp ráp tại công ty CN ô tô TPHCM. Kết quả mô phỏng tác giả đã xây dựng được mô hình khối không khí khoang xe với bản đồ 3-D phân bố tiếng ồn trong khoang xe [32].

Công trình của tác giả Đặng Việt Hà (2010), Nghiên cứu ảnh hưởng của một số thông số đến độ êm dịu chuyển động của ô tô khách được đóng mới ở Việt Nam, Luận án Tiến sĩ Kỹ thuật, Trường Đại học Giao thông Vận Tải. Luận án lựa chọn và xác định các chỉ tiêu đánh giá độ êm dịu chuyển động của xe ô tô khách sản xuất, lắp ráp bằng lý thuyết và thực nghiệm. Khảo sát các yếu tố ảnh hưởng, đặc biệt là độ cứng ghế ngồi để từ đó đề ra biện pháp trong thiết kế và bố trí ghế đảm bảo giảm thiểu các tác hại của dao động ô tô tới sức chịu đựng của con người [33].

Công trình của tác giả Lê Quỳnh Mai (2015), Nghiên cứu ồn khoang xe khách 29 chỗ sản xuất lắp ráp tại Việt Nam, Luận án Tiến sĩ Kỹ thuật, Đại học Bách Khoa Hà Nội. Luận án xây dựng mô hình phân tử hữu hạn khung vỏ xe khách 29 chỗ với các kích thích từ động cơ truyền qua chân máy làm khung vỏ xe bị rung gây ra tiếng ồn trong khoang xe. Kích thích đầu vào cho mô hình

tính toán dao động sàn xe là gia tốc theo ba phương x, y, z đo được từ thực nghiệm và đưa vào mô hình tính toán theo phương pháp lò xo khối lượng [34].

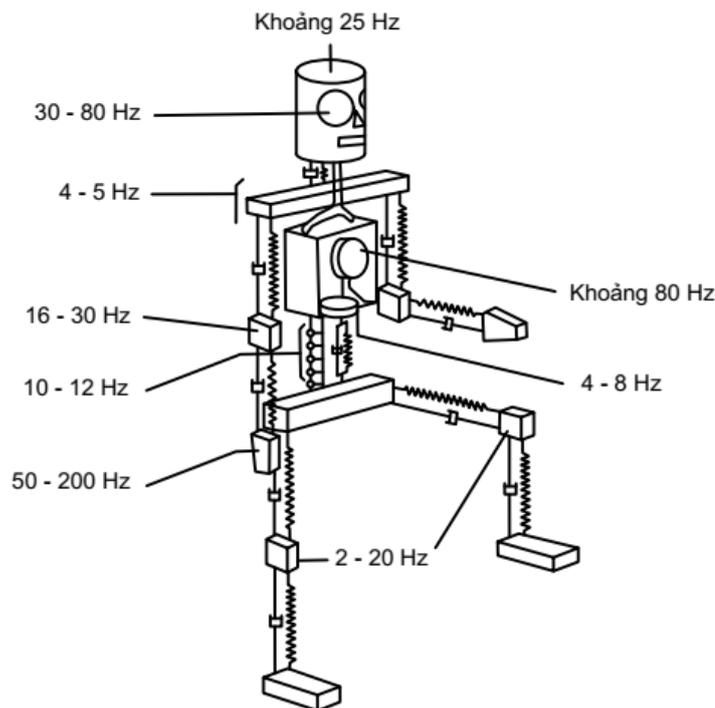
Công trình của tác giả Nguyễn Hồng Quang (2018), Nghiên cứu dao động ô tô tải sản xuất lắp ráp ở Việt Nam khi vận chuyển gỗ trên đường lâm nghiệp, Luận án Tiến sĩ Kỹ thuật, Trường Đại học Lâm nghiệp. Luận án tập trung vào việc xây dựng mô hình không gian của ô tô tải sản xuất lắp ráp ở Việt Nam khi vận chuyển gỗ rừng trồng trên đường lâm nghiệp, có kể đến xoắn khung xe và cản dao động của các bánh lốp. Thông qua khảo sát dao động của xe và thực nghiệm xác định các thông số đầu vào cho bài toán dao động, luận án đã xác định được các dao động thẳng đứng, dao động góc và góc xoắn khung xe khi chở gỗ trên đường lâm nghiệp. Kết quả nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học cho việc nghiên cứu độ bền xoắn khung xe, hoàn thiện kết cấu bộ phận treo và lựa chọn chế độ sử dụng hợp lý nhằm nâng cao độ êm dịu chuyển động, độ bền khung xe và giảm tải trọng lên mặt đường khi vận chuyển gỗ trên đường lâm nghiệp [35].

1.2.2.2. Lĩnh vực nghiên cứu dao động người ngồi trên xe

Khi xác định ảnh hưởng của dao động toàn thân đến cơ thể người, nhóm tác giả đã đưa ra mô hình dao động 8 bậc tự do của cơ thể người như một hệ cơ – sinh học. Bằng phương pháp sử dụng Matlab phân tích tần số riêng và các đáp ứng động học của mô hình trong tư thế ngồi có các trọng lượng khác nhau từ 50 kg đến 80 kg, với mỗi chênh lệch 5 kg. Lực kích thích từ đệm ghế ngồi lên mông người dạng hình sin ($u = u(t) = u_0 \sin \Omega(t)$), với $u_0 = 5$ (mm) là biên độ lực kích thích, $\Omega = 62,8$ (rad/s) là vận tốc lực kích thích và xe chạy với vận tốc 36 (km/h). Sử dụng hàm Lagrange loại 2 để xây dựng biểu thức năng lượng và phương trình vi phân dao động. Kết quả nghiên cứu đưa ra thông tin mức độ ảnh hưởng của dao động đến cơ thể người ngồi và mức rung cho phép với từng nhóm đối tượng. Hạn chế của nghiên cứu là hầu hết các thông số đều là giả

định, trong đó có lực kích thích và các thông số về độ cứng và cản của từng bộ phận cơ thể người [36], [37].

Khi nghiên cứu dao động tay người cho thấy các giá trị gần đúng của tần số dao động phù hợp trên cơ thể con người được chỉ ra ở theo các bộ phận gồm: Trên đỉnh đầu có tần số 25 (Hz) trong đó 0,5 - 3 (Hz) gây ra tiền đình, 30 - 80 (Hz) ảnh hưởng đến vùng mắt, các khớp vai 4-5 (Hz), khớp khuỷu tay 16 – 30 (Hz), khớp cổ tay 50 – 200 (Hz), vùng xương lồng ngực 64 - 80 (Hz), cột sống thắt lưng 10 -12 (Hz), vùng bụng 4 – 8 (Hz) trong đó 2 đến 3 (Hz) sẽ ảnh hưởng đến dạ dày, 2 – 4 (Hz) ảnh hưởng đến ruột, 6 – 8 (Hz) ảnh hưởng đến thận, 4 – 6 (Hz) ảnh hưởng đến tim và 2 – 20 (Hz) ảnh hưởng đến khớp đầu gối hai chân hình 1.4 [38].



Hình 1.4 Sơ đồ tần số dao động riêng của các bộ phận trên cơ thể con người

Công trình của tác giả Nguyễn Mạnh Trường (2022), Nghiên cứu độ êm dịu chuyển động của xe khách giường nằm được sản xuất và lắp ráp tại Việt Nam, Luận án Tiến sĩ Kỹ thuật, Học viện Kỹ thuật Quân sự. Luận án tập trung vào việc xây dựng mô hình động lực học của xe giường nằm bằng mô hình 7

bậc tự do xe và giường, người nằm độc lập để khảo sát và đánh giá các tác động từ bên ngoài như biên dạng mặt đường và yếu tố vận hành đến độ êm dịu chuyển động trên xe khách giường nằm. Trên cơ sở các kết quả đạt được, luận án đã đề xuất phương pháp đánh giá, kiểm tra và từ đó đưa ra các nhận xét cho các nhà sản xuất, lắp ráp trong việc lựa chọn và chế tạo chủng loại giường nằm có đặc tính phù hợp với điều kiện vận hành sử dụng tại Việt Nam, nhằm nâng cao tính tiện nghi, êm dịu khi lựa chọn di chuyển bằng xe khách giường nằm [39].

Qua phân tích các công trình nghiên cứu trong nước và nước ngoài ta có thể nhận thấy rằng, phần lớn các nghiên cứu trong nước hiện nay tập trung vào xe con, xe khách giường nằm hoặc xe tải. Các nghiên cứu chủ yếu nghiên cứu độc lập về dao động xe hoặc dao động người trong các lĩnh vực khác. Các nghiên cứu ảnh hưởng dao động xe đến người ngồi trên xe là chưa có. Trong khi đó xe khách 29 chỗ sản xuất và lắp ráp tại Việt Nam là loại phương tiện vận chuyển hành khách phổ biến trên các tuyến liên tỉnh và du lịch, lại chưa được phân tích chuyên sâu về dao động xe ảnh hưởng đến người ngồi trên xe. Việc lựa chọn xe khách 29 chỗ làm đối tượng nghiên cứu xuất phát từ tính đại diện và tính ứng dụng thực tiễn cao.

1.3. CÁC MÔ HÌNH CƠ HỌC TRONG NGHIÊN CỨU DAO ĐỘNG XE – GHẾ - NGƯỜI NGỒI TRÊN XE

Ngày nay nhờ sự phát triển mạnh của công nghệ chip máy tính điện tử và các phần mềm kỹ thuật chuyên dụng, việc nghiên cứu dao động con người được tập trung theo cả hai hướng dao động toàn thân và dao động từng bộ phận cơ thể bằng mô hình toán sinh động học [40], [41], [42], [43].

Cơ bản có ba mô hình sinh động học của toàn bộ cơ thể con người tiếp xúc với dao động gồm có: mô hình giảm chấn lò xo khối lượng, mô hình phần tử hữu hạn và mô hình động lực học hệ nhiều vật. Việc lựa chọn cách tiếp cận

để phát triển một mô hình sinh học cụ thể phụ thuộc rất nhiều vào mục đích của mô hình và các nguồn tài chính có được.

1.3.1. Mô hình giảm chấn lò xo khối lượng

Mô hình giảm chấn lò xo khối lượng (MSD) là đơn giản nhất nên đã được phát triển và sử dụng rộng rãi.

Các mô hình giảm chấn lò xo khối lượng chủ yếu liên quan đến việc tái tạo một phản ứng sinh động học cụ thể của cơ thể con người được biểu diễn bằng WBV để thiết kế và phân tích hệ thống ghế ngồi, đồng thời phát triển các mô phỏng cơ thể người vật lý hoặc ma-nơ-canh để thử nghiệm ghế hoặc thiết bị chống rung, trong đó việc trích xuất các phản ứng chi tiết bên trong cấu trúc con của cơ thể là không quan trọng.

Sử dụng các mô hình giảm chấn lò xo khối lượng không có yêu cầu về mặt hình học cho cấu trúc của cơ thể. Vì vậy, nó hiệu quả và tiết kiệm chi phí nên thường được sử dụng ma-nơ-canh thay thế trong mô phỏng và phân tích cơ thể người ngồi có khối lượng khác nhau.

Các mô hình giảm chấn lò xo khối lượng hầu hết được phát triển trên cơ sở các thông số đo được của cơ thể con người, như khối lượng và cảm nhót đặt tại các liên kết của đệm ghế, tựa lưng với người [44], [45].

Việc đo gia tốc truyền đến đầu và các đoạn thân của lực kích thích thẳng đứng là bản chất của sự truyền dao động “truyền qua cơ thể” qua cấu trúc cột sống để đánh giá sức khỏe đối với dao động toàn cơ thể người ngồi [46].

Do sự phi tuyến tính trong đặc điểm con người, các biến thử nghiệm và quy trình thu thập dữ liệu, các phép đo cần lặp lại và kỹ thuật phân tích dữ liệu đòi hỏi khắt khe để đảm bảo kết quả đáng tin cậy [43].

Việc thí nghiệm đo các thông số rung cơ học của cơ thể con người cần đến máy tính có phần cứng đắt tiền và đòi hỏi con người phải tiếp xúc với các kích thích ở nơi làm việc thực tế hoặc trong môi trường được kiểm soát. Do sự phức

tạp và phi tuyến tính liên quan đến cơ thể con người và thiết bị đo dao động làm cho thí nghiệm này là một công việc phức tạp nhưng kết quả được sử dụng để bổ sung cho nghiên cứu lý thuyết để phân tích sâu hơn về phản ứng của cơ thể con người đối với dao động do máy móc gây ra [45], [47], [48].

1.3.2. Mô hình động lực học hệ nhiều vật

Mô hình động lực học hệ nhiều vật phức tạp hơn được thường được sử dụng khi có yêu cầu mô phỏng các chuyển động nhiều chiều của cơ thể người.

Toàn bộ cơ thể người chịu kích thích động học và các cấu trúc từng bộ phận được biểu diễn bằng các khối riêng lẻ được liên kết với nhau bằng các phần tử độ cứng và giảm chấn, khi đó mô hình sử dụng “tham số gộp” của các biến quán tính và lực. Khi sử dụng mô hình MBD cần so sánh dao động mô phỏng với thí nghiệm cho vị trí tương ứng cụ thể trên người [49].

Tương tự mô hình MSD, nhược điểm cơ bản của mô hình MBD là việc xác định các tham số mô hình, đặc biệt là độ cứng của khớp và giá trị giảm chấn. Do bản chất nhân trắc học, các mô hình MBD rất hữu ích để dự đoán các lực động tác động lên khớp và sự phân bố dao động trong hệ thống cơ thể người [50].

1.3.3. Mô hình phần tử hữu hạn

Mô hình phần tử hữu hạn khắc phục nhược điểm về việc khó xác định các đặc tính tham số của ghế và con người nên việc sử dụng mô hình FEM trở nên thuận lợi khi các đặc tính đó đã được nhiều nghiên cứu cung cấp và tích hợp trong thư viện phần mềm, người sử dụng có thể áp dụng trực tiếp để phân tích dao động trên cơ thể người [51].

Mô hình FEM có thể được sử dụng để mô phỏng hành vi dao động của một hệ thống liên tục trên cơ thể người mà không cần đến các giả định nhằm đơn giản hóa tính phi tuyến tính của nó. Ví dụ, có thể dự đoán các phản ứng sinh động học chi tiết như ứng suất và biến dạng do dao động gây ra tại các đốt

cột sống bao gồm các đốt sống và đĩa đệm giữa các đốt sống khi sử dụng phương pháp tham số gộp là các biến quán tính và lực tại từng vị trí chi tiết trên cấu trúc cột sống [52] hoặc bất kỳ vị trí nào trên toàn bộ cơ thể [51].

Ngoài ba mô hình chính trên, một số nghiên cứu đã phát triển mô hình thay thế, như các mô hình dựa trên mạng thần kinh nhân tạo, mô hình mờ chủ yếu có bản chất thực nghiệm. Những nghiên cứu này thường áp dụng đối với những mục tiêu cụ thể của một ngành nào đó nên không nằm trong phạm vi đại diện cho mô hình nghiên cứu trên xe ô tô [53], [54].

Ứng dụng của các mô hình được tóm tắt trong bảng 1.1, trên đó cho thấy mô hình FEM có nhiều ưu điểm hơn cả.

Bảng 1.1 Tóm tắt các đặc điểm chính của ba loại mô hình nêu trên

Kiểu mô hình	Nhân trắc học	Miền khảo sát		Dao động toàn thân		Dự đoán ảnh hưởng xấu đến sức khỏe	
		Thời gian	Tần số	Hàm sinh – động học	Mô hình thân người	Tác động từng bộ phận	Chuyển vị từng bộ phận
Mô hình giảm chấn lò xo khối lượng	-	x	x	x	x	-	-
Động lực học hệ nhiều vật	x	x	x	x	x	x	-
Phần tử hữu hạn	x	x	x	x	x	x	x

1.4. KẾT LUẬN CHƯƠNG

Chương 1 của luận án đã xác định mục tiêu nghiên cứu là khảo sát, đánh giá các tác động từ bên ngoài: Biên dạng mặt đường, yếu tố vận tốc đến độ êm dịu chuyển động xe và người ngồi trên xe. Để đạt được mục tiêu này, luận án cần kết hợp cả phương pháp lý thuyết, mô phỏng và thực nghiệm.

Phương pháp nghiên cứu lý thuyết: Lựa chọn mô hình khối lượng – lò xo giảm chấn và ứng dụng phương trình Lagrange loại II mô tả động lực học dao động trong không gian của xe khách và mô hình người ngồi trên xe. Phương pháp nghiên cứu thực nghiệm: Đo đạc thực tế, so sánh kết quả để đánh giá độ chính xác của mô hình lý thuyết.

Chương 1 đã trình bày tổng quan về dao động ô tô, các tác động ảnh hưởng lên người ngồi, các nguồn kích thích dao động chủ yếu, cũng như hiện trạng nghiên cứu trong và ngoài nước. Dao động ô tô không chỉ ảnh hưởng đến độ êm dịu chuyển động, độ bền kết cấu mà còn tác động đáng kể đến sức khỏe người ngồi, đặc biệt trong điều kiện rung toàn thân. Các nguồn gây dao động chính gồm mấp mô mặt đường, sự mất cân bằng của động cơ, hệ thống truyền lực và các kích thích ngẫu nhiên khác.

Tổng quan nghiên cứu cho thấy các nghiên cứu về dao động xe, người ngồi chủ yếu sử dụng mô hình động lực học hệ nhiều vật, phần tử hữu hạn. Tuy nhiên, độ phức tạp của cơ thể người và sự tương tác giữa xe – ghế – người ngồi khiến việc đánh giá dao động của hệ vẫn còn nhiều thách thức.

Qua phân tích tình hình nghiên cứu ở trong và ngoài nước, NCS đã xác định được hướng nghiên cứu của luận án: Xác định ảnh hưởng của dao động xe đến người ngồi trên xe, đối tượng nghiên cứu là ô tô khách 29 chỗ được sản xuất và lắp ráp tại Việt Nam.

Từ việc nghiên cứu ảnh hưởng của dao động xe đến người ngồi trên xe, có thể đưa ra những ý kiến khoa học đóng góp cho các nhà sản xuất và người sử dụng nhằm nâng cao tính êm dịu cho xe, hành khách ngồi trên xe.

CHƯƠNG 2 - XÂY DỰNG MÔ HÌNH KHẢO SÁT DAO ĐỘNG HỆ XE – GHẾ - NGƯỜI NGỒI

2.1. ĐỐI TƯỢNG NGHIÊN CỨU

Việc lựa chọn đối tượng nghiên cứu mô phỏng của luận án đảm bảo được các yêu cầu:

Loại xe phổ biến sử dụng, có thị phần lớn nhằm đảm bảo tính thực tiễn và có sẵn tại Việt Nam nhằm phục vụ thí nghiệm của luận án.

- Có các thông số kỹ thuật thiết kế.
- Có các thông số vật lý sử dụng tham khảo trong luận án.
- Phù hợp với điều kiện thí nghiệm của NCS.

Xe khách County 29 chỗ sản xuất lắp ráp tại Việt nam với bộ linh kiện khung gầm do hãng Hyundai Motor Hàn Quốc chế tạo đã nhập khẩu đồng bộ và chuyển giao công nghệ, hình 2.1.



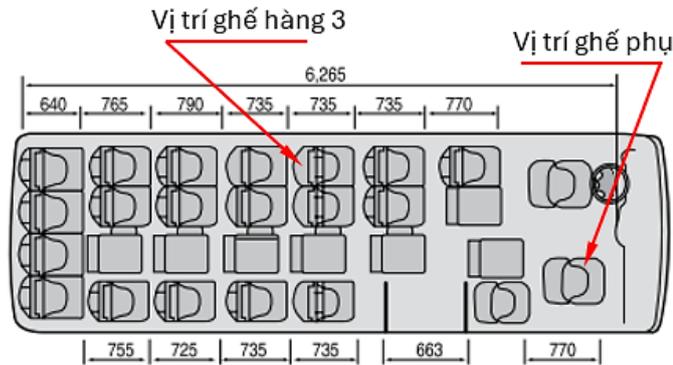
Hình 2.1 Xe khách County 29 chỗ

Những thông số kỹ thuật thiết kế chính của xe, phụ lục 2.1.

Bộ khung gầm xe nhập khẩu gồm sát xi, động cơ và các cụm chi tiết tổng thành khác, khung vỏ và thân xe lắp tổng thể trong nước theo tiêu chuẩn của hãng Hyundai. Giá bán xe trung bình và điều kiện sử dụng phù hợp với môi trường giao thông Việt Nam [55].

Xe khách County 29 chỗ có 28 vị trí ghế khách ngồi và 01 vị trí ghế lái xe. Hai vị trí người ngồi đại diện được lựa chọn khảo sát gồm: vị trí ghế phụ và vị trí ghế hàng ba, hình 2.2. Số lượng vị trí khảo sát trong luận án căn cứ vào:

Là vị trí khảo sát đại diện có khả năng mở rộng cho những vị trí khác.
Thuận tiện trong lắp đặt các thiết bị đo trong thí nghiệm.
Điều kiện thời gian và năng lực của máy tính.



Hình 2.2 Hai vị trí người ngồi trong khảo sát

2.2. MÔ HÌNH KHẢO SÁT DAO ĐỘNG HỆ XE – GHẾ - NGƯỜI NGỒI

2.2.1. Các giả thiết trong mô hình

Người ngồi và ghế trên xe được quy dẫn là một điểm có vị trí theo tọa độ X, Y của vị trí khảo sát và đặt tên gọi theo vị trí số ghế: ghế hàng 1, ghế hàng 2, ...

Các cụm trên xe được quy dẫn về khối lượng tập trung tại trọng tâm của mỗi cụm: Cụm thân xe, cầu trước, cầu sau, ghế và người ngồi. Các chuyển động có thể có của khối lượng tập trung quanh vị trí cân bằng tĩnh là nhỏ.

Các phần tử đàn hồi và giảm chấn của sơ đồ là tuyến tính trong quá trình xe vận hành đối với mỗi trường hợp tải trọng nhất định.

Xe chạy trên đường thẳng, ổn định. Các chế độ vận tốc của xe không đổi trong suốt quá trình khảo sát.

Bánh xe luôn tiếp xúc với bề mặt đường. Mặt đường cứng tuyệt đối, tiếp xúc giữa bánh xe với mặt đường là tiếp xúc điểm.

Biên dạng của mặt đường là nguồn kích động duy nhất. Bỏ qua các nguồn gây dao động từ động cơ, hệ thống truyền lực.

Các vị trí lắp chân ghế với sàn xe được quy về một điểm và chịu lực tập trung từ sàn xe.

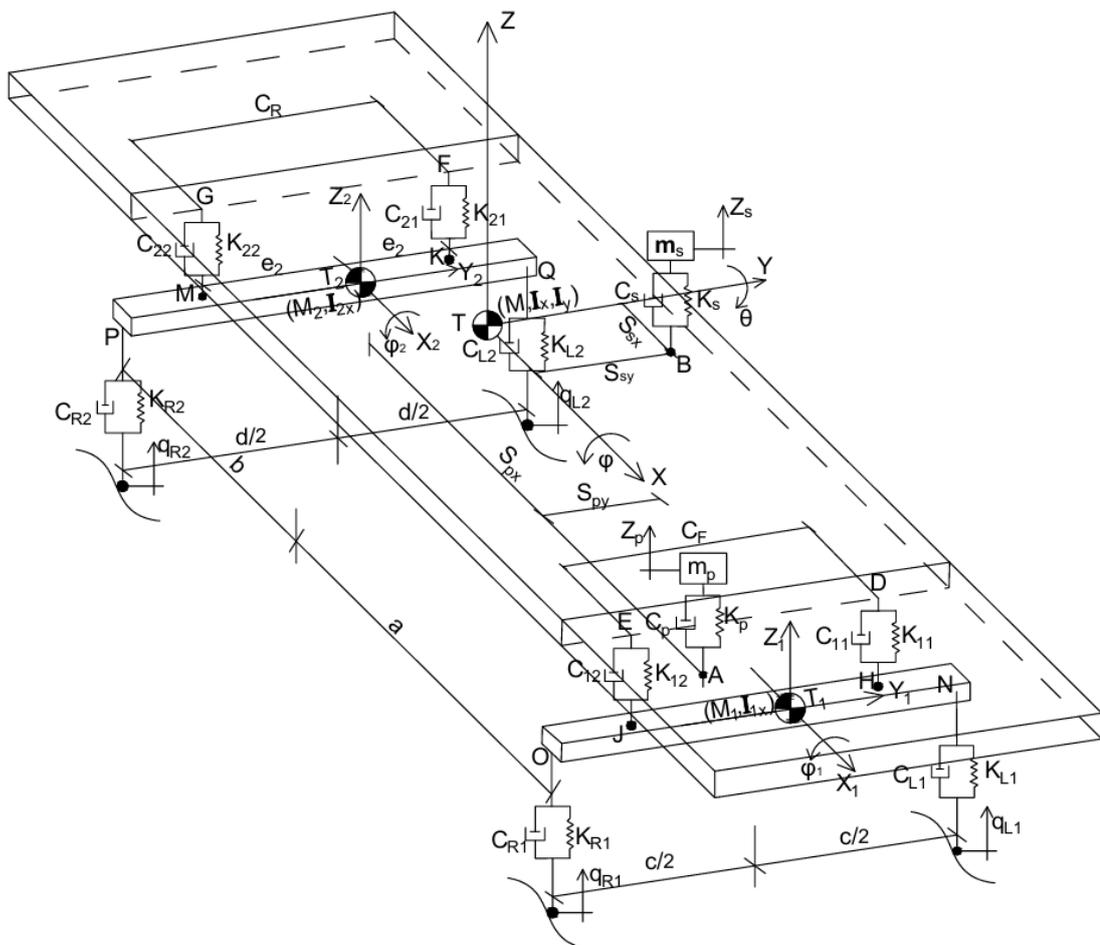
Quá trình khảo sát được tiến hành trong trường hợp đầy tải.

Tải trọng đặt trên mô hình là tải tĩnh trong quá trình xe di chuyển.

Bỏ qua thành phần ma sát giữa các lá nhíp và biến dạng của các đệm trong HTT.

2.2.2. Mô hình hóa hệ dao động

Mô hình nghiên cứu đường – xe – ghế - người ngồi khi xét đến hai vị trí ghế phụ và ghế hàng 3 là một hệ cơ học 9 bậc tự do với các thông số hình học, tọa độ kích thước và các ký hiệu đặc trưng được mô tả trên hình 2.3.



Hình 2.3 Mô hình dao động xe khách xét đến hai vị trí ngồi
Các bậc tự do xác định các tọa độ suy rộng của hệ gồm:

Thân xe: 3 bậc tự do là dịch chuyển theo phương thẳng đứng Z và 2 góc lắc dọc, lắc ngang. Khối lượng của phần được treo (gồm cả khối lượng ghế) được quy dẫn về trọng tâm O_1 đặc trưng bởi các thông số khối lượng M và các mô men quán tính I_x, I_y theo các trục OX và OY . Khối lượng được đặt tại vị trí trọng tâm O_1 có khoảng cách so với cầu trước và cầu sau là a, b . Tọa độ suy rộng là Z, φ_x, φ_y .

Cầu trước: 2 bậc tự do là dịch chuyển theo phương thẳng đứng và góc xoay theo trục dọc OX . Khối lượng của phần không được treo trên cầu trước được quy dẫn về trọng tâm O_2 được đặc trưng bởi thông số khối lượng M_1 và mô men quán tính theo trục OX là I_{1x} . Tọa độ suy rộng là z_{1z}, φ_{1x} .

Cầu sau: 2 bậc tự do là dịch chuyển theo phương thẳng đứng và góc xoay theo trục dọc OX . Khối lượng của phần không được treo trên cầu sau được quy dẫn về trọng tâm O_2 được đặc trưng bởi thông số khối lượng M_2 và mô men quán tính theo trục OX là I_{2x} . Tọa độ suy rộng của khối lượng treo cầu sau có các tọa độ z_{2z}, φ_{2x} .

Ghế người ngồi bên phụ (Z_p) có khối lượng m_p và các phần tử đàn hồi tuyến tính hệ số độ cứng K_p và hệ số giảm chấn C_p .

Ghế ngồi hàng 3 (Z_s) có khối lượng m_s và các phần tử đàn hồi tuyến tính hệ số độ cứng K_s và hệ số giảm chấn C_s .

Hệ thống treo trước và sau gồm các phần tử đàn hồi nhíp lá đặc trưng bởi các hệ số độ cứng $K_{11}, K_{12}, K_{21}, K_{22}$ và phần tử giảm chấn $C_{11}, C_{12}, C_{21}, C_{22}$ lần lượt là trước trái, trước phải, sau trái và sau phải. Thanh ổn định trước có hệ số độ cứng C_F , thanh ổn định sau C_R .

Lốp xe có các phần tử đàn hồi tuyến tính $K_{L1}, K_{R1}, K_{L2}, K_{R2}$ và các hệ số giảm chấn $C_{L1}, C_{R1}, C_{L2}, C_{R2}$ lần lượt là trước trái, trước phải, sau trái và sau phải.

Kích thích dao động $q_{L1}, q_{R1}, q_{L2}, q_{R2}$ lần lượt là trước trái, trước phải, sau trái và sau phải, là các chiều cao mấp mô biên dạng mặt đường tác động khác nhau tại các vị trí tiếp xúc với mặt đường của 4 bánh xe

Kích thích độc lập của 4 dạng mặt đường khác nhau: mấp mô sin, mấp mô xung, ngẫu nhiên và ISO 8608 loại C.

Các thông số cụ thể của mô hình nêu trong phụ lục 2.2

2.2.3. Xây dựng phương trình dao động của hệ

2.2.3.1. Phương trình tổng quát

Áp dụng các phương trình Lagrange loại hai để xây dựng hệ phương trình mô tả dao động của hệ theo phương trình tổng quát theo (2.1)

$$L = T - V \quad (2.1)$$

Triển khai viết phương trình Lagrange cụ thể cho mỗi hệ tọa độ tổng quát q_i theo phương trình (2.2)

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} + \frac{\partial D}{\partial \dot{q}_i} = Q_i \quad (2.2)$$

Trong đó:

T: là động năng của hệ

Π : là thế năng của hệ

D: là hàm tiêu tán năng lượng (do lực cản)

q_i : là lực ngoại tác dụng không bảo toàn

2.2.3.2. Xác định động năng của hệ

Động năng của hệ bao gồm:

$$\text{Động năng của thân xe: } T_1 = \frac{1}{2} M \dot{z}^2 + \frac{1}{2} I_x \cdot \dot{\phi}_x^2 + \frac{1}{2} I_y \cdot \dot{\phi}_y^2 \quad (2.3)$$

$$\text{Động năng của cầu trước: } T_2 = \frac{1}{2} m_1 \cdot \dot{z}_{1z}^2 + \frac{1}{2} I_{1x} \dot{\phi}_{1x}^2 \quad (2.4)$$

$$\text{Động năng của cầu sau: } T_3 = \frac{1}{2} m_2 \cdot \dot{z}_{2z}^2 + \frac{1}{2} I_{2x} \dot{\phi}_{2x}^2 \quad (2.5)$$

$$\text{Động năng của ghế phụ: } T_4 = \frac{1}{2} m_p \cdot \dot{z}_p^2 \quad (2.6)$$

$$\text{Động năng của ghế hàng ba: } T_5 = \frac{1}{2} m_s \cdot \dot{z}_s^2 \quad (2.7)$$

$$\text{Tổng động năng của hệ: } T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 \quad (2.8)$$

2.2.3.3. Xác định thế năng của hệ

Thế năng của hệ bao gồm năng lượng biến dạng của các phần tử đàn hồi:

Thế năng do biến dạng của hệ thống treo trước:

$$\begin{aligned}\Pi_1 = & \frac{1}{2}K_{11}(z - z_{1z} + a\varphi_x - c\varphi_y - c\varphi_{1x})^2 \\ & + \frac{1}{2}K_{12}(z - z_{1z} + a\varphi_x + c\varphi_y + c\varphi_{1x})^2\end{aligned}\quad (2.9)$$

Thế năng do biến dạng của hệ thống treo sau:

$$\begin{aligned}\Pi_2 = & \frac{1}{2}K_{21}(z - z_{2z} - b\varphi_x - d\varphi_y - d\varphi_{2x})^2 \\ & + \frac{1}{2}K_{22}(z - z_{2z} - b\varphi_x + d\varphi_y + d\varphi_{2x})^2\end{aligned}\quad (2.10)$$

Thế năng do biến dạng của lớp xe:

$$\begin{aligned}\Pi_3 = & \frac{1}{2}C_{L1}(z_{1z} - c\varphi_{1x} - q_{L1})^2 + \frac{1}{2}C_{R1}(z_{1z} + c\varphi_{1x} - q_{R1})^2 \\ & + \frac{1}{2}C_{L2}(z_{2z} - d\varphi_{2x} - q_{L2})^2 + \frac{1}{2}C_{R2}(z_{2z} + d\varphi_{2x} - q_{R2})^2\end{aligned}\quad (2.11)$$

Thế năng do biến dạng của thanh ổn định:

$$\Pi_4 = \frac{1}{2}C_F\varphi_{1x}^2 + \frac{1}{2}C_F\varphi_{2x}^2\quad (2.12)$$

Thế năng do biến dạng của ghế phụ:

$$\Pi_5 = \frac{1}{2}K_p(z_p - (z + S_{px}\varphi_x + S_{py}\varphi_y))^2\quad (2.13)$$

Thế năng do biến dạng của ghế hàng 3:

$$\Pi_6 = \frac{1}{2}K_s(z_s - (z + S_{sx}\varphi_x + S_{sy}\varphi_y))^2\quad (2.14)$$

Tổng thế năng của hệ:

$$\Pi = \Pi_1 + \Pi_2 + \Pi_3 + \Pi_4 + \Pi_5 + \Pi_6\quad (2.15)$$

2.2.3.4. Xác định hàm tiêu tán năng lượng

Hàm tiêu tán năng lượng do các phần tử giảm chấn:

Tiêu tán năng lượng do giảm chấn của hệ thống treo trước:

$$\begin{aligned}D_1 = & \frac{1}{2}C_{11}(\dot{z} - \dot{z}_{1z} + a\dot{\varphi}_x - c\dot{\varphi}_y - c\dot{\varphi}_{1x})^2 \\ & + \frac{1}{2}C_{12}(\dot{z} - \dot{z}_{1z} + a\dot{\varphi}_x + c\dot{\varphi}_y + c\dot{\varphi}_{1x})^2\end{aligned}\quad (2.16)$$

Tiêu tán năng lượng do giảm chấn của hệ thống treo sau:

$$D_2 = \frac{1}{2}C_{21}(\dot{z} - \dot{z}_{2z} - b\dot{\phi}_x - d\dot{\phi}_y - d\dot{\phi}_{2x})^2 + \frac{1}{2}C_{22}(\dot{z} - \dot{z}_{2z} - b\dot{\phi}_x + d\dot{\phi}_y + d\dot{\phi}_{2x})^2 \quad (2.17)$$

Tiêu tán năng lượng do giảm chấn của lớp xe:

$$D_3 = \frac{1}{2}K_{L1}(\dot{z}_{1z} - c\dot{\phi}_{1x} - \dot{q}_{L1})^2 + \frac{1}{2}K_{R1}(\dot{z}_{1z} + c\dot{\phi}_{1x} - \dot{q}_{R1})^2 + \frac{1}{2}K_{L2}(\dot{z}_{2z} - d\dot{\phi}_{2x} - \dot{q}_{L2})^2 + \frac{1}{2}K_{R2}(\dot{z}_{2z} + d\dot{\phi}_{2x} - \dot{q}_{R2})^2 \quad (2.18)$$

Tiêu tán năng lượng do giảm chấn của ghế phụ:

$$D_4 = \frac{1}{2}C_p(\dot{z}_p - (\dot{z} + S_{px}\dot{\phi}_x + S_{py}\dot{\phi}_y))^2 \quad (2.19)$$

Tiêu tán năng lượng do giảm chấn của ghế hàng 3:

$$D_5 = \frac{1}{2}C_s(\dot{z}_s - (\dot{z} + S_{px}\dot{\phi}_x + S_{py}\dot{\phi}_y))^2 \quad (2.20)$$

Tổng hàm tiêu tán năng lượng của hệ:

$$D = D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + D_5 \quad (2.21)$$

Áp dụng phương trình Lagrange cho từng tọa độ suy rộng cho ta có hệ phương trình vi phân mô tả dao động của hệ. Các phương trình dao động được biểu diễn dưới dạng hệ phương trình vi phân bậc hai (2.22 đến 2.30) hoặc dạng ma trận (2.31).

2.2.3.5. Viết các phương trình dao động dạng phương trình vi phân bậc 2

1. Phương trình cho tọa độ suy rộng z (dịch chuyển thẳng đứng của thân xe)

$$M\ddot{z} + (C_{11} + C_{12} + C_{21} + C_{22})\dot{z} - (C_{11} + C_{12})\dot{z}_{1z} - (C_{21} + C_{22})\dot{z}_{2z} + (aC_{11} + aC_{12} - bC_{21} - bC_{22})\dot{\phi}_x + (-cC_{11} + cC_{12} - dC_{21} + dC_{22})\dot{\phi}_y - (cC_{11} - cC_{12})\dot{\phi}_{1x} - (dC_{21} - dC_{22})\dot{\phi}_{2x} - C_p(\dot{z}_p - \dot{z} - S_{px}\dot{\phi}_x - S_{py}\dot{\phi}_y) - C_s(\dot{z}_s - \dot{z} - S_{px}\dot{\phi}_x - S_{py}\dot{\phi}_y) + (K_{11} + K_{12} + K_{21} + K_{22})z - (K_{11} + K_{12})z_{1z} - (K_{21} + K_{22})z_{2z} + (aK_{11} + aK_{12} - bK_{21} - bK_{22})\phi_x + (-cK_{11} + cK_{12} - dK_{21} + dK_{22})\phi_y - (cK_{11} - cK_{12})\phi_{1x} - (dK_{21} - dK_{22})\phi_{2x} - K_p(z_p - z - S_{px}\phi_x - S_{py}\phi_y) - K_s(z_s - z - S_{px}\phi_x - S_{py}\phi_y) = 0 \quad (2.22)$$

2. Phương trình cho tọa độ suy rộng φ_x (góc lắc dọc của thân xe)

$$\begin{aligned}
& I_x \ddot{\varphi}_x + (a^2 C_{11} + a^2 C_{12} + b^2 C_{21} + b^2 C_{22}) \dot{\varphi}_x + (a C_{11} + a C_{12}) \dot{z} - \\
& (a C_{11} + a C_{12}) \dot{z}_{1z} - (-b C_{21} - c C_{22}) \dot{z}_{2z} + (-a c C_{11} + a c C_{12} + b d C_{21} - \\
& b d C_{22}) \dot{\varphi}_y - (a c C_{11} - a c C_{12}) \dot{\varphi}_{1x} - (b d C_{21} - b d C_{22}) \dot{\varphi}_{2x} - S_{px} C_p (\dot{z}_p - \\
& \dot{z} - S_{px} \dot{\varphi}_x - S_{py} \dot{\varphi}_y) - S_{sx} C_s (\dot{z}_s - \dot{z} - S_{sx} \dot{\varphi}_x - S_{sy} \dot{\varphi}_y) + (a^2 K_{11} + \\
& a^2 K_{12} + b^2 K_{21} + b^2 K_{22}) \varphi_x - (a K_{11} + a K_{12}) (z - z_{1z}) - (b K_{21} + \\
& b K_{22}) (z - z_{2z}) + (-a c K_{11} + a c K_{12} + b d K_{21} - b d K_{22}) \varphi_y - (-a c K_{11} - \\
& a c K_{12}) \varphi_{1x} - (b d K_{21} - b d K_{22}) \varphi_{2x} - S_{px} K_p (z_p - z - S_{px} \varphi_x - \\
& S_{py} \varphi_y) - S_{sx} K_s (z_s - z - S_{sx} \varphi_x - S_{sy} \varphi_y) = 0
\end{aligned} \tag{2.23}$$

3. Phương trình cho tọa độ suy rộng φ_y (góc lắc ngang của thân xe)

$$\begin{aligned}
& I_y \ddot{\varphi}_y + (c^2 C_{11} + c^2 C_{12} + d^2 C_{21} + d^2 C_{22}) \dot{\varphi}_y + (-c C_{11} + c C_{12}) \dot{z} - \\
& (-c C_{11} + c C_{12}) \dot{z}_{1z} - (-d C_{21} + d C_{22}) \dot{z}_{2z} + (-a c C_{11} + a c C_{12} + \\
& b d C_{21} - b d C_{22}) \dot{\varphi}_x - (c^2 C_{11} + c^2 C_{12}) \dot{\varphi}_{1x} - (d^2 C_{21} + d^2 C_{22}) \dot{\varphi}_{2x} - \\
& S_{py} C_p (\dot{z}_p - \dot{z} - S_{px} \dot{\varphi}_x - S_{py} \dot{\varphi}_y) - S_{sy} C_s (\dot{z}_s - \dot{z} - S_{sx} \dot{\varphi}_x - S_{sy} \dot{\varphi}_y) + \\
& (c^2 K_{11} + c^2 K_{12} + d^2 K_{21} + d^2 K_{22}) \varphi_y + (-c K_{11} + c K_{12}) (z - z_{1z}) - \\
& (-d K_{21} + d K_{22}) (z - z_{2z}) + (-a c K_{11} + a c K_{12} + b d K_{21} - b d K_{22}) \varphi_x - \\
& (c^2 K_{11} - c^2 K_{12}) \varphi_{1x} - (d^2 K_{21} - d^2 K_{22}) \varphi_{2x} - S_{py} K_p (z_p - z - S_{px} \varphi_x - \\
& S_{py} \varphi_y) - S_{sy} K_s (z_s - z - S_{sx} \varphi_x - S_{sy} \varphi_y) = 0
\end{aligned} \tag{2.24}$$

4. Phương trình cho tọa độ suy rộng z_1 (dịch chuyển thẳng đứng của cầu trước)

$$\begin{aligned}
& m_1 \ddot{z}_{1z} - (C_{11} + C_{12}) (\dot{z} - \dot{z}_{1z}) - (a C_{11} + a C_{12}) \dot{\varphi}_x - (-c C_{11} + \\
& c C_{12}) \dot{\varphi}_y - (-c C_{11} + c C_{12}) \dot{\varphi}_{1x} + (K_{L1} + K_{R1}) \dot{z}_{1z} - (K_{L1} - \\
& K_{R1}) c \dot{\varphi}_{1x} - K_{L1} \dot{q}_{L1} - K_{R1} \dot{q}_{R1} - (K_{11} + K_{12}) (z - z_{1z}) - (a K_{11} + \\
& a K_{12}) \varphi_x - (-c K_{11} + c K_{12}) \varphi_y - (-c K_{11} + c K_{12}) \varphi_{1x} + (C_{L1} + \\
& C_{R1}) z_{1z} - (C_{L1} - C_{R1}) c \varphi_{1x} - C_{L1} q_{L1} - C_{R1} q_{R1} = 0
\end{aligned} \tag{2.25}$$

5. Phương trình cho tọa độ suy rộng φ_1 (góc xoay quanh trục dọc của cầu trước)

$$\begin{aligned}
& I_{1x} \ddot{\varphi}_{1x} - (c C_{11} - c C_{12}) (\dot{z} - \dot{z}_{1z}) - (a c C_{11} - a c C_{12}) \dot{\varphi}_x - (c^2 C_{11} - \\
& c^2 C_{12}) \dot{\varphi}_y - (c^2 C_{11} + c^2 C_{12}) \dot{\varphi}_{1x} - (K_{L1} - K_{R1}) c \dot{z}_{1z} + (K_{L1} + \\
& K_{R1}) c^2 \dot{\varphi}_{1x} + K_{L1} c \dot{q}_{L1} - K_{R1} c \dot{q}_{R1} - (c K_{11} - c K_{12}) (z - z_{2z}) - \\
& (a c K_{11} - a c K_{12}) \varphi_x - (c^2 K_{11} + c^2 K_{12}) \varphi_y - (c^2 K_{11} + c^2 K_{12}) \varphi_{1x} - \\
& (C_{L1} - C_{R1}) c z_{1z} + (C_{L1} + C_{R1}) c^2 \varphi_{1x} + C_{L1} c q_{L1} - C_{R1} c q_{R1} + C_F \varphi_{1x} = 0
\end{aligned} \tag{2.26}$$

6. Phương trình cho tọa độ suy rộng Z_{1X} (dịch chuyển thẳng đứng của cầu sau)

$$\begin{aligned} m_2 \ddot{z}_{2z} - (C_{21} + C_{22})(\dot{z} - \dot{z}_{2z}) - (-bC_{21} - bC_{22})\dot{\varphi}_x - (-dC_{21} + \\ dC_{22})\dot{\varphi}_y - (-dC_{21} + dC_{22})\dot{\varphi}_{2x} + (K_{L2} + K_{R2})\dot{z}_{2z} - (K_{L2} - \\ K_{R2})d\dot{\varphi}_{2x} - K_{L2}\dot{q}_{L2} - K_{R2}\dot{q}_{R2} - (K_{21} + K_{22})(z - z_{2z}) - (-bK_{21} - \\ bK_{22})\varphi_x - (-dK_{21} + dK_{22})\varphi_y - (-dK_{21} + dK_{22})\varphi_{2x} + (C_{L2} + \\ C_{R2})z_{2z} - (C_{L2} - C_{R2})d\varphi_{2x} - C_{L2}q_{L2} - C_{R2}q_{R2} = 0 \end{aligned} \quad (2.27)$$

7. Phương trình cho tọa độ suy rộng φ_{2X} (góc xoay quanh trục dọc của cầu sau)

$$\begin{aligned} I_{2x}\ddot{\varphi}_{2x} - (dC_{21} - dC_{22})(\dot{z} - \dot{z}_{2z}) - (bdC_{21} - bdC_{22})\dot{\varphi}_x - (d^2C_{21} - \\ d^2C_{22})\dot{\varphi}_y - (d^2C_{21} + d^2C_{22})\dot{\varphi}_{2x} - (K_{L2} - K_{R2})d\dot{z}_{2z} + (K_{L2} + \\ K_{R2})d^2\dot{\varphi}_{2x} + K_{L2}d\dot{q}_{L2} - K_{R2}d\dot{q}_{R2} - (dK_{21} - dK_{22})(z - z_{2z}) - \\ (bdK_{21} - bdK_{22})\varphi_x - (d^2K_{21} - d^2K_{22})\varphi_y - (d^2K_{21} + d^2K_{22})\varphi_{2x} - \\ (C_{L2} - C_{R2})dz_{2z} + (C_{L2} + C_{R2})d^2\varphi_{2x} + C_{L2}dq_{L2} - C_{R2}dq_{R2} + \\ C_R\varphi_{2x} = 0 \end{aligned} \quad (2.28)$$

8. Phương trình cho tọa độ suy rộng z_p (dịch chuyển thẳng đứng của ghế phụ)

$$\begin{aligned} m_p \ddot{z}_p + C_p(\dot{z}_p - \dot{z} - S_{px}\dot{\varphi}_x - S_{py}\dot{\varphi}_y) \\ + K_p(z_p - z - S_{px}\varphi_x - S_{py}\varphi_y) = 0 \end{aligned} \quad (2.29)$$

9. Phương trình tọa độ suy rộng z_s (dịch chuyển thẳng đứng của ghế hàng 3)

$$\begin{aligned} m_s \ddot{z}_s + C_s(\dot{z}_s - \dot{z} - S_{sx}\dot{\varphi}_x - S_{sy}\dot{\varphi}_y) \\ + K_s(z_s - z - S_{sx}\varphi_x - S_{sy}\varphi_y) = 0 \end{aligned} \quad (2.30)$$

2.2.3.6. Hệ phương trình dạng ma trận

Đặt các tọa độ suy rộng của hệ theo bảng 2.1

Bảng 2.1 Các bậc tự do và tọa độ suy rộng của hệ

Bậc tự do	Tên	Tọa độ suy rộng
z	Dịch chuyển thẳng đứng của thân xe	q_1
φ_x	Góc lắc dọc của thân xe	q_2
φ_y	Góc lắc ngang của thân xe	q_3
z_1	Dịch chuyển thẳng đứng của cầu trước	q_4
φ_1	Góc xoay quanh trục dọc của cầu trước	q_5
z_2	Dịch chuyển thẳng đứng của cầu sau	q_6
φ_2	Góc xoay quanh trục dọc của cầu sau	q_7
Z_p	Dịch chuyển thẳng đứng của ghế phụ	q_8
Z_s	Dịch chuyển thẳng đứng của ghế hàng 3	q_9

Hệ phương trình dao động của xe được viết dưới dạng ma trận (2.31)

$$[M]\{\ddot{q}\} + [C]\{\dot{q}\} + [K]\{q\} = \{F(t)\} \quad (2.31)$$

Ở đây, $F(t)$ là véc tơ lực tác dụng.

Hệ chịu ảnh hưởng của tọa độ trọng tâm xe, của vị trí ghế - người ngồi xuất hiện phân bố lại tải trọng. Lúc này $F(t)$ sẽ bao gồm hai thành phần: Lực kích thích từ mặt đường và lực do sự phân bố lại tải trọng.

Ma trận (2.31) trở thành dạng (2.32)

$$M\ddot{q} + C\dot{q} + Kq = HF_{road} \quad (2.32)$$

Với HF_{road} là là lực tác dụng từ mặt đường.

Trong đó, H là ma trận xét đến ảnh hưởng của vị trí đến dao động

Ma trận khối lượng được tính như sau:

$$[M] = \begin{bmatrix} M & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & I_x & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & I_y & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & I_{1x} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I_{2x} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_p & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_s \end{bmatrix}$$

Ma trận độ cứng $[K]$ phản ánh mối quan hệ giữa lực và chuyển vị trong hệ thống., ma trận $[K]$ có kích thước 9×9 . $[K]$ là ma trận đối xứng, $K_{ij} = K_{ji}$.

$$[K] = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} & K_{14} & K_{15} & K_{16} & K_{17} & K_{18} & K_{19} \\ K_{12} & K_{22} & K_{23} & K_{24} & K_{25} & K_{26} & K_{27} & K_{28} & K_{29} \\ K_{13} & K_{23} & K_{33} & K_{34} & K_{35} & K_{36} & K_{37} & K_{38} & K_{39} \\ K_{14} & K_{24} & K_{34} & K_{44} & K_{45} & K_{46} & K_{47} & K_{48} & K_{49} \\ K_{15} & K_{25} & K_{35} & K_{45} & K_{55} & K_{56} & K_{57} & K_{58} & K_{59} \\ K_{16} & K_{26} & K_{36} & K_{46} & K_{56} & K_{66} & K_{67} & K_{68} & K_{69} \\ K_{17} & K_{27} & K_{37} & K_{47} & K_{57} & K_{67} & K_{77} & K_{78} & K_{79} \\ K_{18} & K_{28} & K_{38} & K_{48} & K_{58} & K_{68} & K_{78} & K_{88} & K_{89} \\ K_{19} & K_{29} & K_{39} & K_{49} & K_{59} & K_{69} & K_{79} & K_{89} & K_{99} \end{bmatrix}$$

Với:

$$K_{11} = K_{11} + K_{12} + K_{21} + K_{22}$$

$$K_{12} = c(K_{11} + K_{12}) - d(K_{21} + K_{22})$$

$$K_{13} = a(K_{11} + K_{12}) - b(K_{21} + K_{22})$$

$$K_{14} = -(K_{11} + K_{12})$$

$$K_{22} = c^2(K_{11} + K_{12}) + d^2(K_{21} + K_{22}) + CF + CR$$

$$K_{23} = ac(K_{11} + K_{12}) - bd(K_{21} + K_{22})$$

$$K_{24} = -c(K_{11} + K_{12})$$

$$K_{25} = -c^2(K_{11} - K_{12}) - CF$$

$$K_{26} = -d(K_{21} + K_{22})$$

$$K_{27} = -d^2(K_{21} - K_{22}) - CR$$

$$K_{28} = -S_{px} \cdot K_p$$

$$K_{29} = -S_{sx} \cdot K_s$$

$$K_{33} = a^2(K_{11} + K_{12}) + b^2(K_{21} + K_{22})$$

$$K_{34} = -a(K_{11} + K_{12})$$

$$K_{35} = -ac(K_{11} - K_{12})$$

$$K_{36} = -b(K_{21} + K_{22})$$

$$K_{44} = K_{11} + K_{12} + K_{L1} + K_{R1}$$

$$K_{45} = c(K_{11} - K_{12})$$

$$K_{46} = 0$$

$$K_{47} = 0$$

$$K_{48} = 0$$

$$K_{49} = 0$$

$$K_{66} = K_{21} + K_{22} + K_{L2} + K_{R2}$$

$$K_{67} = d(K_{21} - K_{22})$$

$$K_{77} = d^2(K_{21} + K_{22}) + CR$$

$$K_{78} = 0$$

$$K_{79} = 0$$

$$K_{15} = -c(K_{11} - K_{12})$$

$$K_{16} = -(K_{21} + K_{22})$$

$$K_{17} = -c(K_{21} - K_{22})$$

$$K_{18} = -K_p; K_{19} = -K_s$$

$$K_{37} = -bd(K_{21} - K_{22})$$

$$K_{38} = -S_{py} \cdot K_p$$

$$K_{39} = -S_{sy} \cdot K_s$$

$$K_{55} = c^2(K_{11} + K_{12}) + CF$$

$$K_{56} = 0$$

$$K_{57} = 0$$

$$K_{58} = 0$$

$$K_{59} = 0$$

$$K_{68} = 0$$

$$K_{69} = 0$$

$$K_{88} = K_p$$

$$K_{89} = 0$$

$$K_{99} = K_s$$

Ma trận cản $[C]$ phản ánh các lực cản tỷ lệ với vận tốc trong hệ thống. Tương tự như ma trận độ cứng, ma trận cản cũng có kích thước 9×9 cho hệ 9 bậc tự do và cũng đối xứng, $C_{ij} = C_{ji}$.

$$[C] = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} & C_{15} & C_{16} & C_{17} & C_{18} & C_{19} \\ C_{12} & C_{22} & C_{23} & C_{24} & C_{25} & C_{26} & C_{27} & C_{28} & C_{29} \\ C_{13} & C_{23} & C_{33} & C_{34} & C_{35} & C_{36} & C_{37} & C_{38} & C_{39} \\ C_{14} & C_{24} & C_{34} & C_{44} & C_{45} & C_{46} & C_{47} & C_{48} & C_{49} \\ C_{15} & C_{25} & C_{35} & C_{45} & C_{55} & C_{56} & C_{57} & C_{58} & C_{59} \\ C_{16} & C_{26} & C_{36} & C_{46} & C_{56} & C_{66} & C_{67} & C_{68} & C_{69} \\ C_{17} & C_{27} & C_{37} & C_{47} & C_{57} & C_{67} & C_{77} & C_{78} & C_{79} \\ C_{18} & C_{28} & C_{38} & C_{48} & C_{58} & C_{68} & C_{78} & C_{88} & C_{89} \\ C_{19} & C_{29} & C_{39} & C_{49} & C_{59} & C_{69} & C_{79} & C_{89} & C_{99} \end{bmatrix}$$

Các phần tử của ma trận $[C]$ gồm:

$$C_{11} = C_{11} + C_{12} + C_{21} + C_{22}$$

$$C_{12} = c(C_{11} + C_{12}) - d(C_{21} + C_{22})$$

$$C_{13} = a(C_{11} + C_{12}) - b(C_{21} + C_{22})$$

$$C_{14} = -(C_{11} + C_{12})$$

$$C_{15} = -c(C_{11} - C_{12})$$

$$C_{16} = -(C_{21} + C_{22})$$

$$C_{17} = -d(C_{21} - C_{22})$$

$$C_{18} = -C_p$$

$$C_{19} = -C_s$$

$$C_{22} = c^2(C_{11} + C_{12}) + d^2(C_{21} + C_{22})$$

$$C_{23} = ac(C_{11} + C_{12}) - bd(C_{21} + C_{22})$$

$$C_{24} = -c(C_{11} + C_{12})$$

$$C_{25} = -c^2(C_{11} - C_{12})$$

$$C_{26} = -d(C_{21} + C_{22})$$

$$C_{27} = -d^2(C_{21} - C_{22})$$

$$C_{28} = -S_{px} \cdot C_p$$

$$C_{29} = -S_{sx} \cdot C_s$$

$$C_{44} = C_{11} + C_{12} + C_{L1} + C_{R1}$$

$$C_{45} = c(C_{11} - C_{12})$$

$$C_{33} = a^2(C_{11} + C_{12}) + b^2(C_{21} + C_{22})$$

$$C_{34} = -a(C_{11} + C_{12})$$

$$C_{35} = -ac(C_{11} - C_{12})$$

$$C_{36} = -b(C_{21} + C_{22})$$

$$C_{37} = -bd(C_{21} - C_{22})$$

$$C_{38} = -S_{py} \cdot C_p$$

$$C_{39} = -S_{sy} \cdot C_s$$

$$C_{55} = c^2(C_{11} + C_{12})$$

$$C_{56} = 0$$

$$\begin{array}{ll}
C_{46} = 0 & C_{57} = 0 \\
C_{47} = 0 & C_{58} = 0 \\
C_{48} = 0 & C_{59} = 0 \\
C_{49} = 0 & \\
C_{66} = C_{21} + C_{22} + CL_2 + CR_2 & C_{68} = 0 \\
C_{67} = d(C_{21} - C_{22}) & C_{69} = 0 \\
C_{77} = d^2(C_{21} + C_{22}) & C_{88} = C_p \\
C_{78} = 0 & C_{89} = 0 \\
C_{79} = 0 & C_{99} = C_s
\end{array}$$

Ma trận [H] gồm 4 cột, 9 hàng thể hiện ảnh hưởng về vị trí đến dao động ô tô.

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ a & -a & -b & b \\ c & -c & -d & d \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ Sp_x & -Sp_x & Ss_x & -Sp_x \\ Sp_y & -Sp_y & Sp_y & -Sp_y \end{bmatrix}$$

Lực kích thích từ mặt đường lên 4 bánh xe là một ma trận 1 cột, 4 hàng

$$q_{ext} = \begin{bmatrix} q_{L1} \\ q_{R1} \\ q_{L2} \\ q_{R2} \end{bmatrix}$$

Viết phương trình dưới dạng ma trận trạng thái:

Ta định nghĩa biến trạng thái:

$$X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q \\ \dot{q} \end{bmatrix}$$

Phương trình trạng thái trở thành (2.33)

$$\begin{aligned}
\dot{X} &= AX + BF_{road} \\
Y &= CX + DF_{road}
\end{aligned} \tag{2.33}$$

$$\text{với: } A = \begin{bmatrix} 0 & I \\ -M^{-1}K & -M^{-1}C \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ -M^{-1}H \end{bmatrix}$$

Ta chọn đầu ra Y là toàn bộ trạng thái X , khi đó:

$$C = I, D = 0$$

Y : Véc tơ các thông số đầu ra gồm các biến đầu ra tương ứng với biến X

$$X^T = [Z, \dot{Z}, \varphi_x, \dot{\varphi}_x, \varphi_y, \dot{\varphi}_y, Z_1, \dot{Z}_{1x}, \varphi_1, \dot{\varphi}_1, Z_2, \dot{Z}_{2x}, \varphi_2, \dot{\varphi}_2, Z_p, \dot{Z}_p, Z_s, \dot{Z}_s]$$

A, B, C, D là các ma trận trạng thái $A(18 \times 18), B(18 \times 4), C(9 \times 9), D(9 \times 4)$.

2.3. XÂY DỰNG MÔ HÌNH DAO ĐỘNG NGƯỜI NGỒI TRÊN GHẾ

2.3.1. Các giả thiết

Để xây dựng mô hình dao động người ngồi trên ghế ta sử dụng những giả thiết:

- Số bộ phận khảo sát lý thuyết bằng số vị trí đo trong thí nghiệm. Cụ thể cơ thể người được chia thành 3 bộ phận gồm: (1) Đầu, (2) Mình (bao gồm lưng, thân, hông và chân), (3) Ngực. Các bộ phận được quy dẫn về khối lượng tập trung lần lượt là m_d, m_m và m_c đặt tại trọng tâm mỗi khối. Các đặc tính của mỗi khối gồm độ cứng $k(i)$ và cản đàn hồi $c(i)$, ($i = 1, 2, 3$).

- Dao động của người là dao động của các khối, chỉ xét những dao động theo phương thẳng đứng theo tiêu chuẩn đánh giá độ êm dịu chuyển động của ô tô.

- Khối lượng người khảo sát là phổ biến người Việt Nam bằng 60 kg. Các người ngồi trên xe đều có khối lượng bằng nhau.

- Ghế và người chỉ chịu lực tác dụng theo phương thẳng đứng.

- Hệ dao động ghế và người không chịu ảnh hưởng bởi gia tốc theo phương dọc của xe.

- Người ngồi trên ghế chỉ chịu lực kích động từ đệm ngồi lên hông theo phương thẳng đứng. Không xét đến lực ngang từ đệm tựa lưng sang người.

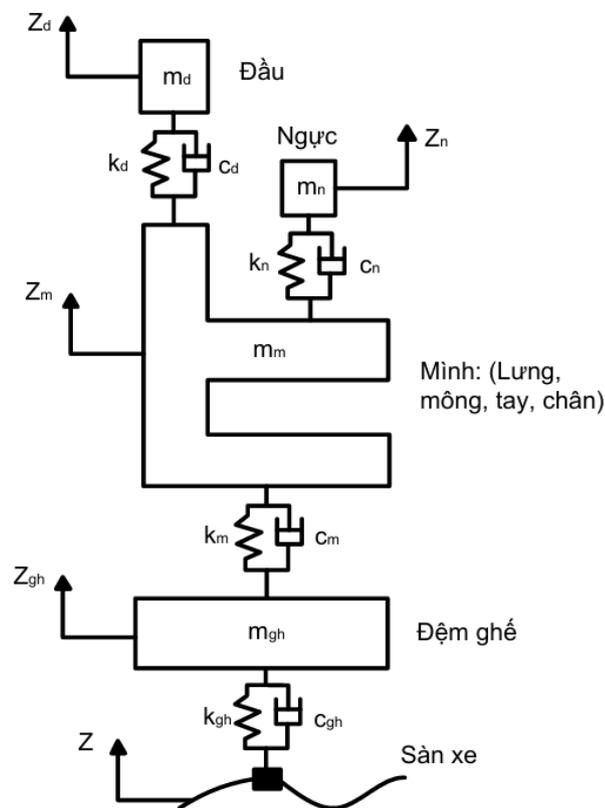
- Toàn bộ khối lượng ghế được quy dẫn tương đương về đệm ghế. Phía trên đệm ghế là đệm ngồi liên kết đàn hồi với hông người có đặc tính độ cứng

k_m và cản đàn hồi c_m . Phía dưới đệm ghế là chân ghế liên kết đàn hồi với sàn xe có đặc tính độ cứng k_s và cản đàn hồi c_s . Các ghế ngồi trên xe đều có thông số kỹ thuật như nhau.

Từ các giả thiết trên ta xây dựng mô hình người là hệ dao động của các khối lượng tập trung.

2.3.2. Xây dựng mô hình dao động người ngồi trên ghế

Mô hình dao động hệ người ngồi trên ghế trình bày trên hình 2.4 [20]:



Hình 2.4 Mô hình dao động người ngồi trên ghế xe khách.

Mô hình dao động người ngồi trên ghế là hệ dao động 4 bậc tự do, trong đó 3 bậc tự do của người và 1 bậc tự do của ghế. Các bậc tự do của hệ xác định các dịch chuyển theo phương thẳng đứng các khối lần lượt gồm:

Z_d : Dịch chuyển của khối đầu

Z_n : Dịch chuyển của khối ngực

Z_m : Dịch chuyển của khối mình

Z_{gh} : Dịch chuyển của khối ghế

Z là dao động của sàn tại vị trí ghế đang xét. Thành phần dịch chuyển và vận tốc dịch chuyển của Z là lực kích động lên hệ người ngồi trên ghế.

Khối lượng của các bộ phận cơ thể người được định nghĩa là một phần của tổng khối lượng cơ thể, thay đổi tùy theo giới tính, độ tuổi và hình dạng của con người. Thường cơ thể nam giới ở châu Âu và châu Mỹ chuẩn ở độ tuổi trung bình 50 là 77.3 kg [56].

Đối với con người Việt Nam, các thông số trong mô hình được phân tích từ thực tế [37].

Các số liệu về khối lượng và thông số liên kết độ cứng, cản đàn hồi được phân tích, lựa chọn từ những TLTK trên để sử dụng cho mô hình này bảng 2.2,

Bảng 2.2 Các thông số của mô hình dao động người ngồi trên ghế [56].

STT	Tên khối	Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị
1	Khối lượng của đầu	m_d	kg	5
2	Khối lượng ngực	m_n	kg	15
3	Khối lượng mình	m_m	kg	40
4	Khối lượng ghế	m_{gh}	kg	15
5	Độ cứng đầu	k_d	kN/m	130
6	Cản đàn hồi đầu	c_d	Ns/m	250
7	Độ cứng ngực	k_n	kN/m	35
8	Cản đàn hồi ngực	c_n	Ns/m	750
9	Độ cứng mình	k_m	kN/m	40
10	Cản đàn hồi mình	c_m	Ns/m	2500
11	Độ cứng chân ghế	k_{gh}	kN/m	7
12	Cản đàn hồi chân ghế	c_{gh}	Ns/m	900

Kích thước người khác nhau giữa các châu lục, những phép đo kích thước cơ thể người được nêu trong các tiêu chuẩn quốc tế BS EN ISO 7250:1998 và PD ISO/TR 7250-2:2010. Các yếu tố để thiết kế sự thoải mái của con người và

dữ liệu toàn diện về các kích thước nhân trắc học được trình bày trong sổ tay về công thái học của con người [57].

2.3.3. Xây dựng hệ phương trình vi phân mô tả dao động của hệ người ngồi trên ghế

Ứng dụng các phương trình Newton II và III, xét cân bằng hệ lực, các phương trình mô tả dao động hệ người ngồi trên ghế gồm 4 phương trình từ (2.34) đến (3.37)

$$m_{gh}\ddot{Z}_{gh} = k_{gh}(Z - Z_{gh}) + k_m(Z_m - Z_{gh}) + c_{gh}(\dot{Z} - \dot{Z}_{gh}) + c_m(\dot{Z}_m - \dot{Z}_{gh}) \quad (2.34)$$

$$m_m\ddot{Z}_m = k_m(Z_{gh} - Z_m) + k_n(Z_n - Z_m) + c_m(\dot{Z}_{gh} - \dot{Z}_m) + c_n(\dot{Z}_n - \dot{Z}_m) \quad (2.35)$$

$$m_n\ddot{Z}_n = k_n(Z_m - Z_n) + c_n(\dot{Z}_m - \dot{Z}_n) \quad (2.36)$$

$$m_d\ddot{Z}_d = k_d(Z_m - Z_d) + c_d(\dot{Z}_m - \dot{Z}_d) \quad (2.37)$$

2.4. PHƯƠNG PHÁP, CHỈ TIÊU ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG DAO ĐỘNG ĐẾN NGƯỜI NGỒI

2.4.1. Phương pháp cảm nhận

Phương pháp cảm nhận được đánh giá thông qua cảm giác của con người mang tính chủ quan và khách quan [58].

+ *Tính chủ quan*: Phản ứng chủ quan

Những cảm nhận chủ quan của người về dao động ô tô được đánh giá bằng cách phỏng vấn trực tiếp các nhóm người khác nhau. Đối với người lái xe, không phỏng vấn trực tiếp vì phỏng vấn trực tiếp làm giảm khả năng điều khiển của lái [59].

Phản ứng chủ quan thường được sử dụng rộng rãi trong thực tế để đánh giá bằng sự thoải mái trực tiếp của người ngồi. Ưu điểm của phương pháp này là dễ thực hiện. Nhược điểm là phụ thuộc một phần vào trạng thái cảm giác của

người đang trải qua tình huống trực tiếp diễn ra và mức độ nhạy cảm của mỗi người với các phản ứng dao động. Hầu hết con người nhạy cảm nhất với các dao động dọc trong khoảng 5 - 16 Hz và với dao động ngang trong khoảng 1 - 2 Hz. Trên cơ thể, vùng bụng dưới nhạy cảm ở tần số 2 Hz, truyền lên cơ thể ở khoảng tần số 4 - 8 Hz, truyền lên đầu ở tần số 16 Hz.

+ *Tính khách quan*: Phản ứng sinh lý

Do khó phân biệt tác động đến cơ thể do dao động với tác động khác như ngồi cả ngày hoặc làm những công việc khác. Đa số các nghiên cứu về dao động trên người đã chỉ ra rằng các dao động của dải tần số từ 4 đến 10 Hz sẽ gây đau ở vùng ngực và lưng, ở dải tần số từ 10 đến 20 Hz gây ra nhức đầu, mỏi mắt, kích thích ở ruột và bàng quang.

Khi dao động với các lực gia tốc đủ lớn gây ra tác động cơ học đối với người như chấn thương mãn tính được tạo ra do tiếp xúc với dao động trong thời gian dài. Trong thực tế, những tác động như vậy thường xuất hiện sau khi tiếp xúc với các va chạm lặp đi lặp lại hoặc với lắc ngẫu nhiên khi xe chạy trên bề mặt gồ ghề, dẫn đến chuyển động lắc không đều. Các chấn thương cơ học có thể gây đứt sớ, đứt cơ thắt lưng, chấn thương thận và có thể xuất hiện máu trong nước tiểu.

Phương pháp cảm nhận có thể sử dụng hồi quy tuyến tính. Trong phương trình, nó mô tả mối quan hệ giữa biến độc lập X là chuyển vị trên vị trí ghế ngồi đang xét và biến phụ thuộc Y là chuyển vị thẳng đứng theo phương Z của xe, độ cứng và đàn hồi của hệ thống treo (2.38)

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon \quad (2.38)$$

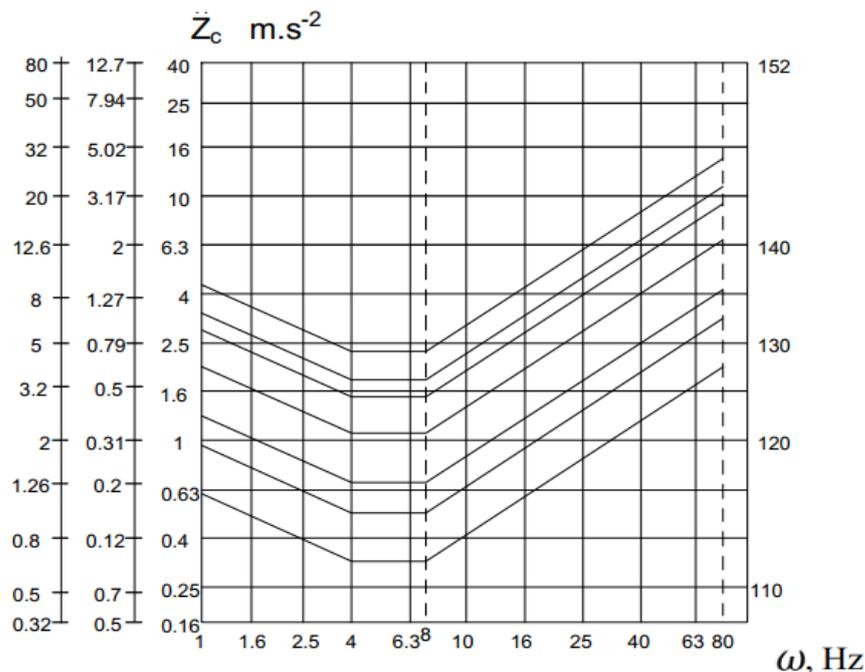
2.4.2. Chỉ tiêu độ êm dịu chuyển động

Độ êm dịu chuyển động của ô tô, trong đó gia tốc, biên độ và tần số dao động được coi là các thông số đặc trưng của dao động ô tô.

Cơ sở khoa học để xác định chỉ tiêu về gia tốc dao động là giá trị bình phương trung bình của gia tốc và được xây dựng thành tiêu chuẩn đánh giá. Các tiêu chuẩn đánh giá dao động theo RMS gồm:

Trong nước có quy chuẩn quốc gia QCVN 09/2015 quy định tần số dao động riêng của phần được treo của xe ở trường hợp đầy tải không được lớn hơn 2,5Hz [60]. Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia QCVN 27/2016/BYT quy định quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về rung – giá trị cho phép tại nơi làm việc [66].

Tiêu chuẩn quốc tế ISO 2631-1 sử dụng chỉ số đánh giá dao động RMS với thông số được đánh giá là gia tốc dao động theo phương thẳng đứng Z tác động vào hành khách ở hai trạng thái, thứ nhất là tác động toàn thân và thứ hai là tác động vào từng bộ phận trên cơ thể hành khách [1].



Hình 2.5. Giới hạn gia tốc dao động thẳng đứng và tần số dao động người khi ngồi trên xe theo tiêu chuẩn ISO 2631- 1.

Gia tốc bình phương trung bình a_{wz} (m/s^2) theo thời gian tác động được xác định theo công thức (2.39):

$$a_{wz} = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a_z^2(t) dt \right]^{1/2} \quad (2.39)$$

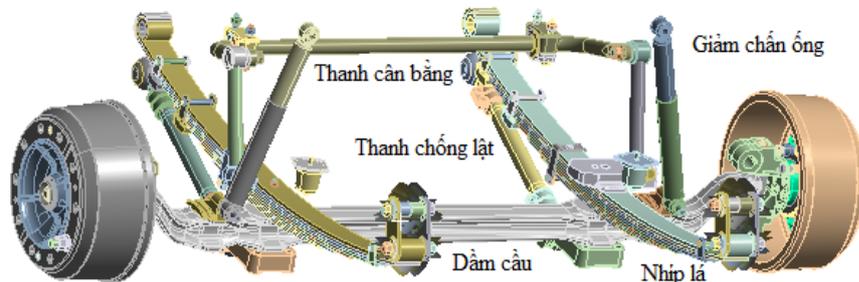
Trong đó:

a_z - Gia tốc theo phương thẳng đứng theo thời gian

T - Thời gian khảo sát.

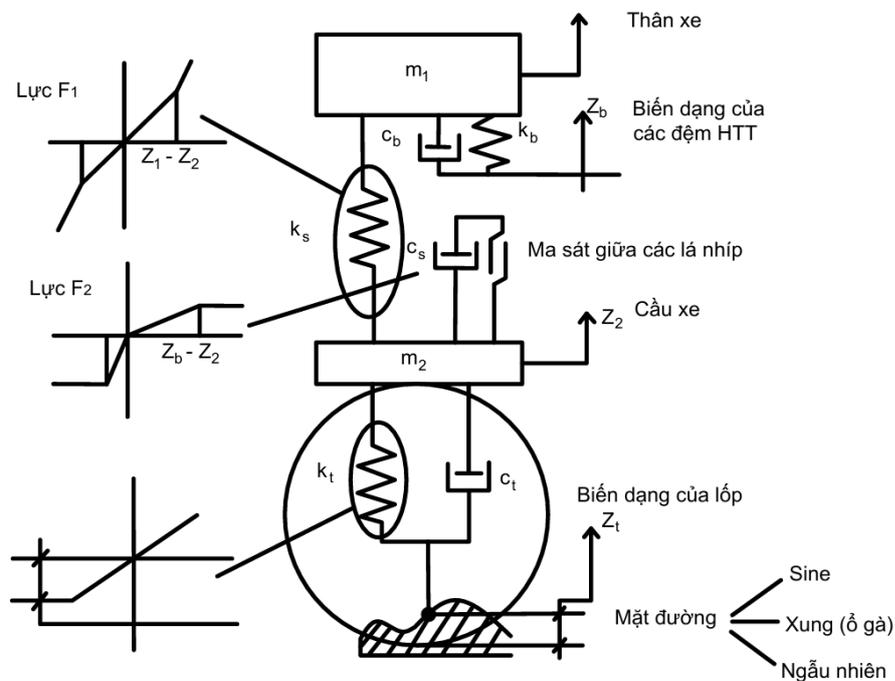
2.5. XÁC ĐỊNH CÁC THÔNG SỐ CỦA MÔ HÌNH

Hệ thống treo trên xe nghiên cứu gồm các thành phần: Nhíp lá (xe khảo sát), giảm chấn và các liên kết. Thiết kế 3-D HTT được xây dựng đúng thực tế về số lượng chi tiết, hình dáng, kích thước, vật liệu và các liên kết. Thiết kế 3-D hệ thống treo xe khách County trình bày trên hình 2.6.



Hình 2.6 Hệ thống treo xe Bus County

Các thông số của xe được mô tả trên hình 2.7. Từ sơ đồ mô hình hóa lò xo – khối lượng dao động xe, ta thiết lập các giá trị cần xác định.



Hình 2.7 Sơ đồ dao động hệ thống treo trên xe

Thông số độ cứng HTT gồm độ cứng tĩnh và độ cứng động.

a) Độ cứng tĩnh HTT

Trong HTT, nhíp là thành phần đàn hồi phi tuyến tính. Gần đúng có thể coi độ cứng tĩnh của HTT là độ cứng tĩnh của bộ nhíp lá và được xác định bằng công thức (2.40), [61].

$$C_n = \frac{6 \cdot E \cdot \alpha}{\sum_{k=1}^n a_{k+1} (Y_k - Y_{k+1})} \quad (2.40)$$

b) Độ cứng động HTT

Độ cứng động HTT tính theo phương trình (2.41), [61].

$$\begin{aligned} k &= 4\pi^2 (f_n)^2 \cdot m \\ c_s &= 2\zeta \sqrt{km} \end{aligned} \quad (2.41)$$

Trong đó f_n là tần số tự nhiên của HTT, m là khối lượng thiết kế của HTT và k là độ cứng của hệ thống treo, c_s là hệ số giảm chấn, ζ là chỉ số giảm chấn.

Ứng dụng các kết quả của những công trình nghiên cứu trước đó đã công bố, trong đó công trình của NCS Trần Thanh An đã tính toán tối ưu trên xe khách County 29 chỗ trong trường hợp đạt chỉ tiêu độ êm dịu ở gia tốc dao động xe là $f_1 = 0,5906$ (m/s²). Xe khách County 29 chỗ đã được lựa chọn và sử dụng một số thông số thiết kế, thông số vật lý làm số liệu tham khảo trong luận án. Các thông số của HTT đã được tối ưu nêu trong phụ lục 2.2 [34], [62].

2.6. KẾT LUẬN CHƯƠNG 2

Trên cơ sở phân tích, lựa chọn xe khách County 29 chỗ là xe lắp ráp tại Việt Nam và sử dụng phổ biến, có các đặc tính kỹ thuật và vật lý đã được công bố trên một số nghiên cứu trước nên có thể tham khảo sử dụng trong luận án.

Trên cơ sở các giả thiết phù hợp với điều kiện thực tế, mô hình dao động đường – xe – ghế – người được xây dựng gồm: Mô hình dao động không gian 9 bậc tự do gồm 7 bậc tự do của xe và 2 bậc tự do của hệ ghế - người ngồi được

lựa chọn khảo sát: ghế phụ, ghế hàng 3 để từ đó có thể mở rộng sang những vị trí còn lại trên toàn xe.

Xây dựng hệ phương trình vi phân 9 phương trình mô tả dao động không gian của xe để khảo sát. Hệ phương trình vi phân được viết dưới dạng phương trình trạng thái với các ma trận $A(18 \times 18)$, $B(18 \times 4)$, $C(9 \times 9)$, $D(9 \times 4)$.

Xây dựng mô hình động lực học hệ Ghế - người ngồi có 4 bậc tự do gồm 1 bậc tự do của ghế ngồi và 3 bậc tự do của người ngồi, dựa trên đặc tính nhân trắc học của người Việt Nam và lựa chọn các chỉ tiêu đánh giá theo ISO 2631-1 và QCVN 27/2016/BYT. Các thông số của hệ thống treo, lốp và ghế được xác định từ đặc tính thiết kế, dữ liệu công bố và các nghiên cứu trước đây.

CHƯƠNG 3 - KHẢO SÁT ẢNH HƯỞNG CỦA DAO ĐỘNG ĐẾN NGƯỜI NGỒI TRÊN XE

3.1. CÁC KÍCH THÍCH MẶT ĐƯỜNG LÊN MÔ HÌNH

Thiết lập phương trình cho véc-tơ lực kích thích $\{F(t)\}$, khảo sát độc lập 4 loại kích thích: Mấp mô sin, mấp mô xung, mấp mô ngẫu nhiên, mấp mô ISO 8608 loại C.

Các kích thích này được xác định tại bốn điểm tiếp xúc giữa bánh xe và mặt đường: q_{L1} (trước trái), q_{L2} (sau trái), q_{R1} (trước phải), và q_{R2} (sau phải).

3.1.1. Kích thích sin lên mô hình

Mấp mô và ổ gà trên đường là những chướng ngại vật đơn lẻ có hình dạng gần như tùy ý. Các mấp mô hình sin sẽ gây ra lực cản “trơn tru hơn” do tránh được sự gián đoạn của xung [63].

Kích thích Sin mô phỏng mặt đường dạng sóng hình sin có thể được biểu diễn như sau:

$$q(t) = A \cdot \sin(\omega \cdot t) = A \cdot \sin(2\pi f \cdot t) \quad (3.1)$$

Trong đó:

A: biên độ của mấp mô (m); ω : tần số góc (rad/s)
f: tần số (Hz); t: thời gian (s)

Tần số f phụ thuộc vào vận tốc xe (v) và bước sóng của mấp mô (λ): $f = v/\lambda$

Với mỗi vận tốc khảo sát (20, 40, 60, 80, 100 km/h), tần số kích thích sẽ khác nhau.

3.1.2. Kích thích xung lên mô hình

Mấp mô xung mô phỏng các va chạm đột ngột như khi xe đi qua ổ gà hoặc gờ giảm tốc. Kích thích này được mô tả bằng hàm xung hoặc bán sin:

$$q(t) = \begin{cases} 0 & t > T \\ A \cdot \sin\left(\frac{\pi t}{T}\right) & \text{nếu } 0 \leq t \leq T \end{cases} \quad (3.2)$$

Trong đó:

A: chiều cao của mấp mô (m); T: thời gian đi qua mấp mô (s), phụ thuộc vào chiều dài mấp mô và vận tốc xe

3.1.3. Kích thích ngẫu nhiên lên mô hình

Mô hình kích thích ngẫu nhiên mô tả mặt đường với độ mấp mô thay đổi ngẫu nhiên. Có thể mô phỏng bằng quy trình ngẫu nhiên thông qua phương pháp tổng các hàm hình sin với biên độ và pha ngẫu nhiên:

$$q(x) = \sum A_i \cdot \sin(\Omega_i \cdot x + \varphi_i) \quad (3.3)$$

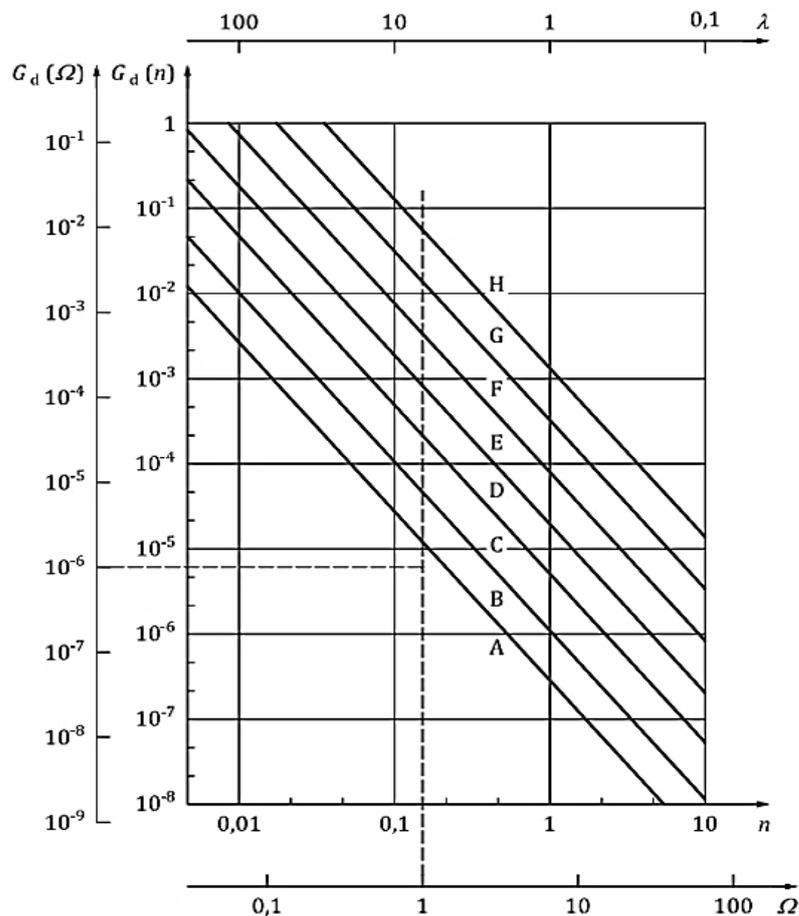
Trong đó:

A_i : Biên độ ngẫu nhiên theo phân bố xác định; Ω_i : Tần số không gian

φ_i : Góc pha ngẫu nhiên trong khoảng $[0, 2\pi]$; x : Khoảng cách dọc theo đường

3.1.4. Kích thích ISO 8608 lên mô hình

Theo tiêu chuẩn ISO 8608, mặt đường được phân thành các loại từ A (rất tốt) đến H (rất xấu) [16], [64], [18] được mô tả bằng mật độ phổ công suất (PSD) hình 3.1:



Hình 3.1 Các biên dạng mặt đường theo ISO 8608:2016

Trục 1: PSD của chuyển vị $\Phi(n)$ [m^3]; Trục 2: Chiều dài bước sóng λ [m];
 Trục 3: PSD của chuyển vị $\Phi(\Omega)$ [m^3]; Trục 4: Tần số không gian, n [chu kỳ/m]; Trục 5 Tần số góc không gian, n [rad/m].

$$\Phi(\Omega) = \Phi(\Omega_0) \cdot (\Omega/\Omega_0)^{-w} \quad (3.4)$$

Trong đó:

$\Phi(\Omega)$: mật độ phổ công suất tại tần số không gian Ω

Ω : tần số không gian (rad/m)

Ω_0 : tần số không gian tham chiếu, thường là 1 rad/m

$\Phi(\Omega_0)$: giá trị mật độ phổ công suất tại tần số tham chiếu

w : Số mũ, lấy bằng 2

Đối với mặt đường loại C theo ISO 8608, giá trị $\Phi(\Omega_0) = 16 \times 10^{-6} (m^3)$

Từ mật độ phổ công suất, ta có thể tạo ra các kích thích bằng cách:

$$q(x) = \sum (2 \cdot \Phi(\Omega_i) \cdot \Delta\Omega) \cdot \cos(\Omega_i \cdot x + \varphi_i) \quad (3.5)$$

3.1.5. Thiết lập véc-tơ lực kích thích $\{F(t)\}$

Véc-tơ lực kích thích $\{F(t)\}$ cho hệ 9 bậc tự do sẽ có 9 thành phần tương ứng với các bậc tự do:

$$\{F(t)\} = [F_1(t), F_2(t), F_2(t), F_3(t), F_4(t), F_5(t), F_6(t), F_7(t), F_8(t), F_9(t)]^T \quad (3.6)$$

Các lực kích thích phụ thuộc vào các biến dạng và vận tốc biến dạng của lớp xe:

1. Lực tác động lên thân xe (F_1, F_2, F_3):

$F_1(t) = 0$ (không có lực trực tiếp theo phương thẳng đứng)

$F_2(t) = 0$ (không có mô-men trực tiếp quanh trục x)

$F_3(t) = 0$ (không có mô-men trực tiếp quanh trục y)

2. Lực tác động lên cầu trước (F_4, F_5):

$F_4(t) = K_{L1} \cdot q_{L1}(t) + C_{R1} \cdot \dot{q}_{L1}(t) + K_{R1} \cdot q_{R1}(t) + C_{R1} \cdot \dot{q}_{R1}(t)$

$F_5(t) = c \cdot (K_{L1} \cdot q_{L1}(t) - K_{R1} \cdot q_{R1}(t)) + c \cdot (C_{L1} \cdot \dot{q}_{L1}(t) - C_{R1} \cdot \dot{q}_{R1}(t))$

3. Lực tác động lên cầu sau (F_6, F_7):

$$F_6(t) = K_{L2} \cdot q_{L2}(t) + C_{L2} \cdot \dot{q}_{L2}(t) + K_{R2} \cdot q_{R2}(t) + C_{R2} \cdot \dot{q}_{R2}(t)$$

$$F_7(t) = d \cdot (K_{L2} \cdot q_{L2}(t) - K_{R2} \cdot q_{R2}(t)) + d \cdot (C_{L2} \cdot \dot{q}_{L2}(t) - C_{R2} \cdot \dot{q}_{R2}(t))$$

4. Lực tác động lên ghế phụ và ghế hàng 3 (F_8, F_9):

$$F_8(t) = 0 \text{ (không có lực kích thích trực tiếp trên ghế phụ)}$$

$$F_9(t) = 0 \text{ (không có lực kích thích trực tiếp trên ghế hàng 3)}$$

Độ trễ thời gian giữa bánh trước và bánh sau:

Bánh sau trái (q_{L2}) sẽ gặp cùng một mấp mô như bánh trước trái (q_{L1}) sau một khoảng thời gian $\tau = (a+b)/v$

Tương tự, bánh sau phải (q_{R2}) sẽ gặp cùng một mấp mô như bánh trước phải (q_{R1}) sau cùng khoảng thời gian τ .

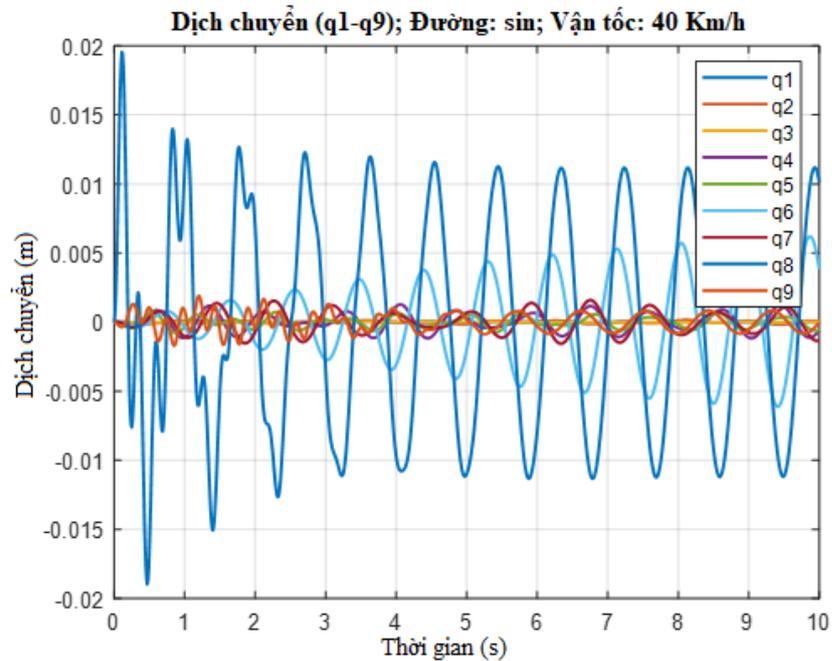
3.2. KHẢO SÁT DAO ĐỘNG XE KHÁCH 29 CHỖ

Các điều kiện khảo sát gồm: Vận tốc xe 20, 40, 60, 80, 100 km/h và bốn mặt đường: mấp mô sin, xung, ngẫu nhiên và ISO 8608.

Phương pháp khảo sát: Sử dụng thuật toán ode45 giải theo phương pháp Runge–Kutta4 lập trình m-file trong Matlab. Code lập trình được trình bày trong Phụ lục 3.1. Trên tất cả các kết quả của khảo sát dao động các tọa độ suy rộng $q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6, q_7, q_8, q_9$ trình bày trong khung vuông của đồ thị để thuận lợi cho việc phân tích so sánh kết quả. Trên mỗi kết quả được nhóm theo loại mặt đường và chế độ vận tốc khảo sát riêng biệt.

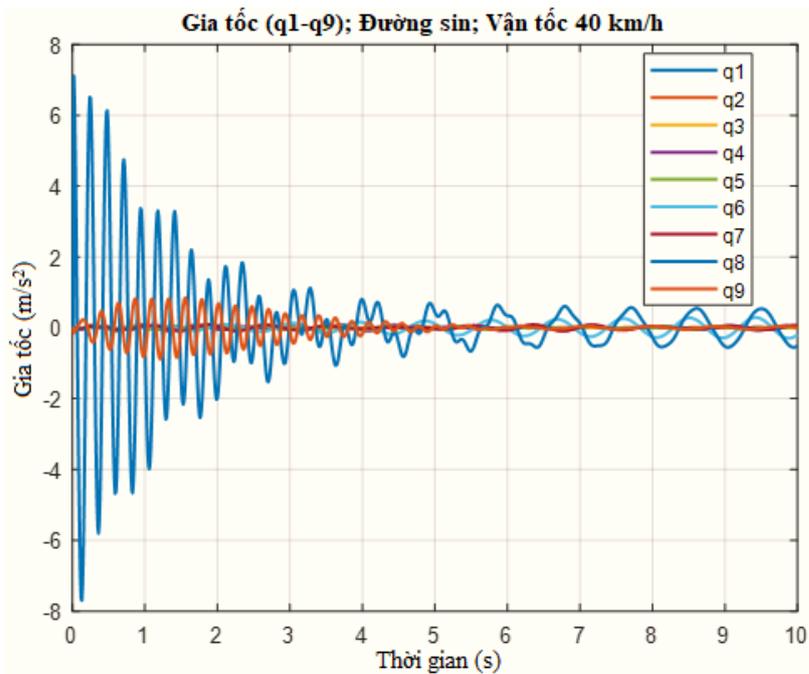
3.2.1. Dịch chuyển và gia tốc của các tọa độ suy rộng

Các đồ thị kết quả dịch chuyển và gia tốc của các tọa độ suy rộng được trình bày trong các Phụ lục 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 cho các loại mặt đường mấp mô sin, xung, ngẫu nhiên và ISO 8608 tương ứng.



Hình 3.2 Biên độ dịch chuyển thẳng đứng của dao động xe

Biên độ dịch chuyển của dao động: Quan sát trên đồ thị cho thấy ở chế độ vận tốc xe 40 km/h, mặt đường mấp mô sin, biên độ dịch chuyển của khối lượng được treo q_1 là lớn nhất, giá trị đỉnh của dao động xấp xỉ 20 mm, tiếp theo là khối lượng không được treo trước q_6 . Vị trí ghế phụ q_8 và ghế hàng 3 q_9 có biên độ dao động tương đối đều và thấp hơn, hình 3.2.



Hình 3.3 Gia tốc dao động trên xe khách

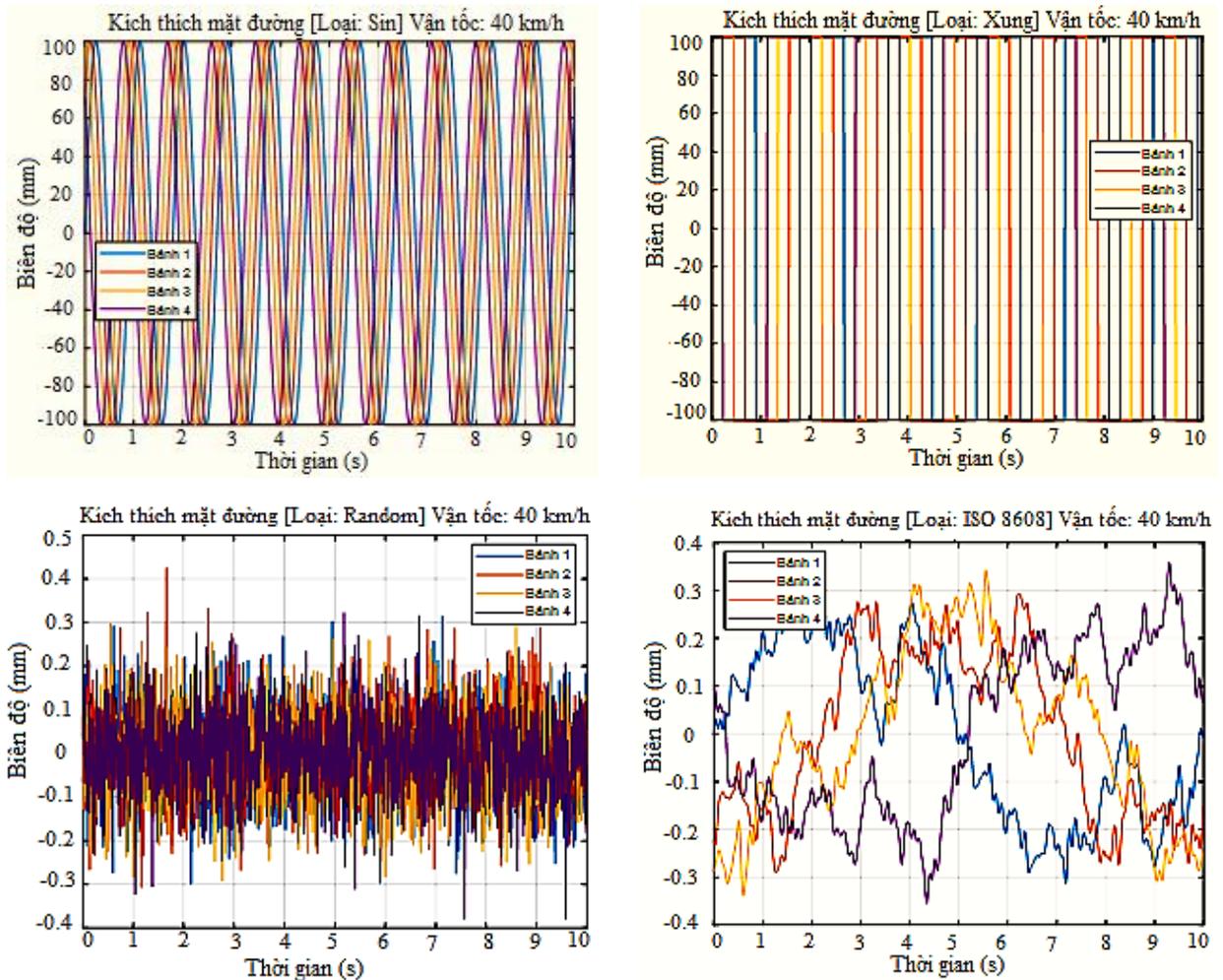
Gia tốc của dao động: Ở chế độ vận tốc xe 40 km/h, mặt đường mấp mô sin, khối lượng được treo q_1 có gia tốc dao động lớn nhất, giá trị đỉnh đạt 7 (m/s^2). Các tọa độ suy rộng khác trong đó có q_8, q_9 xấp xỉ nhau. Tất cả các dao động đều có xu hướng tắt dần do có ảnh hưởng của giảm chấn, hình 3.3.

So sánh kết quả khảo sát cho thấy ở những chế độ vận hành khác nhau về vận tốc xe, loại mấp mô mặt đường ảnh hưởng rõ rệt đến biên độ và gia tốc của dao động.

3.2.2. Các loại mặt đường

Đồ thị các loại mặt đường được trình bày trong Phụ lục 3.6 cho các loại mặt đường mấp mô sin, xung, ngẫu nhiên và ISO 8608.

Mấp mô mặt đường tạo nên các lực kích thích lên bốn bánh xe, tần số lực kích thích có xu hướng tăng theo tỷ lệ tăng của vận tốc. Trên hình 3.4 trình bày xu thế tăng biên độ lực kích thích lên 4 bánh xe.



Hình 3.4 Đồ thị kích thích mặt đường dạng sin, xung, ngẫu nhiên và ISO 8608

3.2.3. Phân tích đáp ứng tần số

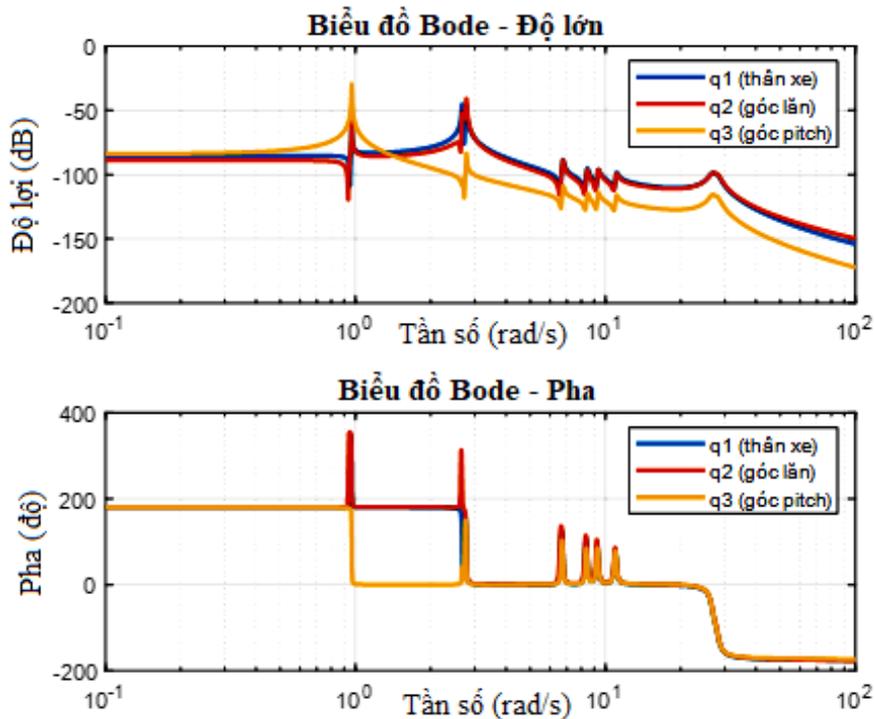
Kết quả mô phỏng dao động xe khách được đánh giá trên các đồ thị Đồ thị Bode: Đồ thị Bode - độ lớn; Đồ thị Bode – Pha.

Trên đồ thị Bode - độ lớn: biểu diễn độ lớn của hàm truyền lực kích thích q_{L1} , q_{R1} , q_{L2} , q_{R2} theo tần số để đánh giá khả năng khuếch đại hoặc suy giảm của hệ thống tại các tần số khác nhau. Trục hoành: Tần số (rad/s) theo thang logarit, trục tung: Độ lớn của hàm truyền đạt (dB, tức $20 \log|G(j\omega)|$).

Trên hình 3.5 cho thấy khả năng đáp ứng tần số của các hệ tọa độ suy rộng q_1 , q_2 , q_3 ổn định ở vùng tần số thấp. Ở vùng giữa, tần số trung bình có những đột biến cùng một thời điểm và giảm dần ở vùng tần số cao hơn.

Trên đồ thị pha cho thấy sự thay đổi pha của tín hiệu đầu ra so với đầu vào theo tần số để đánh giá sự trễ hay tăng pha ở từng tần số. Như vậy ở vùng giữa hệ xảy ra mất ổn định.

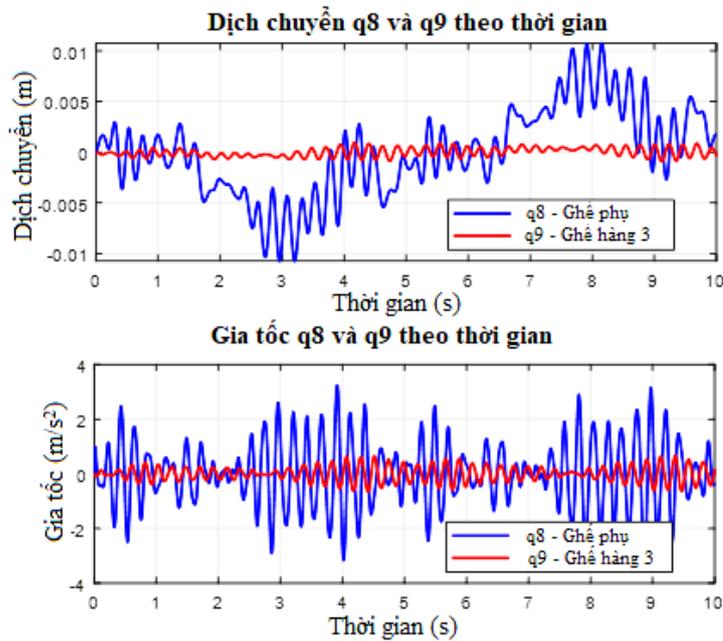
Như vậy, vùng tần số này cần được quan tâm hơn trong tính toán thiết kế xe khách này.



Hình 3.5 Đồ thị đáp ứng tần số của q_1 , q_2 , q_3

3.2.4. Phân tích dao động vị trí ngồi

Ở chế độ khảo sát cụ thể vận tốc xe 40 km/h, mấp mô mặt đường hình sin cho thấy vị trí ngồi của ghế phụ có biên độ dao động lớn hơn so với vị trí ngồi hàng 3 của hành khách. Độ ổn định của dao động vị trí ghế hành khách cũng tốt hơn. Đánh giá gia tốc dao động cũng phù hợp với quy luật của dịch chuyển, hình 3.6.



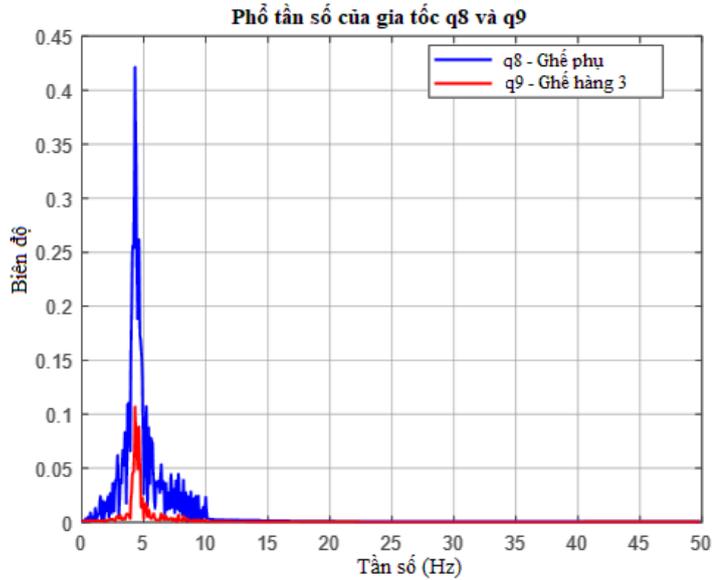
Hình 3.6 Đồ thị dao động của hai tọa độ suy rộng q_8 , q_9 .

Phân tích phổ tần số cho thấy ở vùng tần số thấp biên độ của dao động cao đạt giá trị đỉnh, sau đó giảm và ổn định ở vùng tần số cao, hình 3.7.

Trên đồ thị cho thấy phổ tần số của dao động q_8 , q_9 tập trung ở khoảng tần số 0 – 10 Hz, dao động chủ yếu là do chuyển động thân xe (dao động thẳng đứng, lắc dọc, lắc ngang) và có liên quan đến hệ thống treo, bánh xe.

Ở vùng tần số cao không có sự bất thường của biên độ dao động nên mô hình mô phỏng ổn định.

Trong vùng chứa các tần số đặc trưng của hệ gồm tần số dao động tự nhiên, tần số kích thích, tần số cộng hưởng lấy giá trị đỉnh của đồ thị ở khoảng 4.5 Hz.

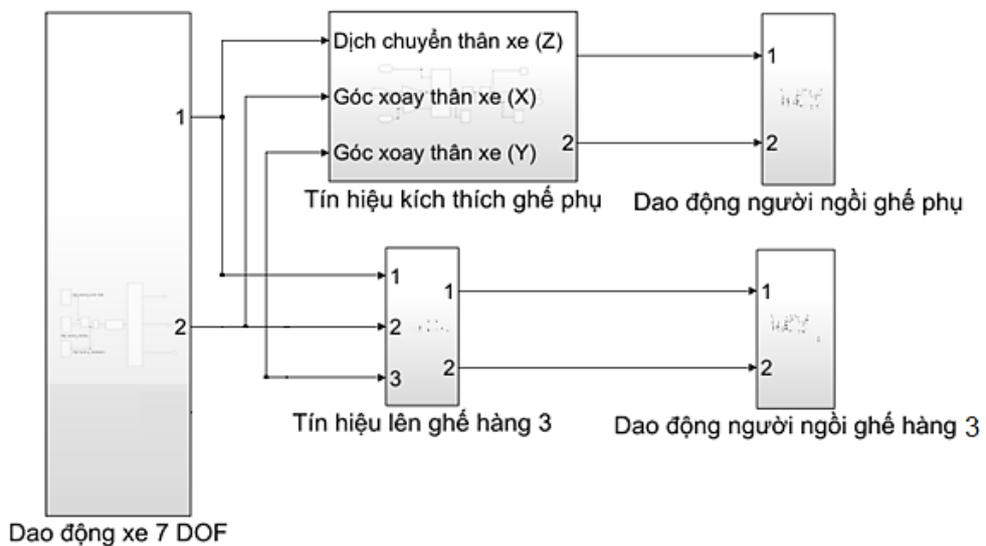


Hình 3.7 Đồ thị phổ tần số của gia tốc q_8, q_9

3.3. MÔ PHỎNG DAO ĐỘNG NGƯỜI NGỒI TRÊN GHẾ

3.3.1. Sơ đồ mô phỏng

Ứng dụng phần mềm Matlab - Simulink giải các phương trình dao động người ngồi trên ghế, lập trình sơ đồ theo hình 3.8. Hai vị trí ghế ngồi khảo sát đại diện được dự kiến gồm người ngồi trên ghế bên phụ đối diện với ghế tài xế, người ngồi trên ghế hàng 3. Khối lượng xe sẽ được cộng thêm phần tải trọng phụ bổ sung để đạt trường hợp đầy tải của xe.



Hình 3.8 Sơ đồ Simulink mô phỏng chung dao động xe – người ngồi trên ghế

Giải thích sơ đồ:

- *Khối đầu vào* : Khảo sát dao động xe 7 bậc tự do đã được xác định ở chương 2
- *Khối tín hiệu kích thích lên ghế* : gồm 2 khối tương ứng với 2 vị trí ghế
- *Khối đầu ra* : Phân tích dao động người ngồi trên ghế.

Các vận tốc khảo sát ở 5 dãy 20 km/h, 40 km/h, 60 km/h, 80 km/h và 100 km/h. Thời gian mô phỏng chung là 10 (s). Để vẽ đồ thị liên tục và mịn, ta lấy số điểm tính của máy chạy là 1000 điểm/s và nhận được tổng số điểm tính là 10 (s) * 1000 điểm = 10.000 điểm.

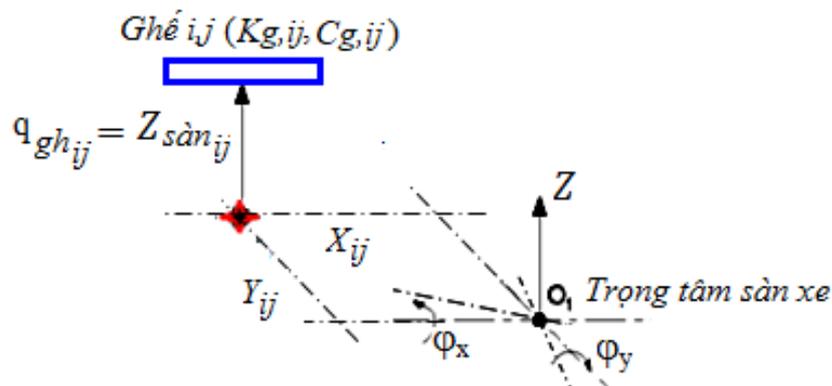
3.3.2. Xác định tọa độ vị trí ghế ngồi

Tại vị trí ghế - người ngồi, chuyển vị tại các vị trí ghế i_j theo phương thẳng đứng Z được xác định là hàm kích thích lên người tại vị trí ghế đó $q_{gh(ij)}$ và được mô tả trên hình 3.9, có giá trị tính bằng phương trình (3.7)

$$Z_{gh_{ij}} = Z_{sàn_{ij}} = Z + X_{ij}\varphi_Y + Y_{ij}\varphi_x \quad (3.7)$$

Ở đó: Z , φ_y , φ_x là các giá trị dao động tại trọng tâm thân xe

X_{ij} , Y_{ij} là vị trí tọa độ của ghế thứ i,j trên sàn.



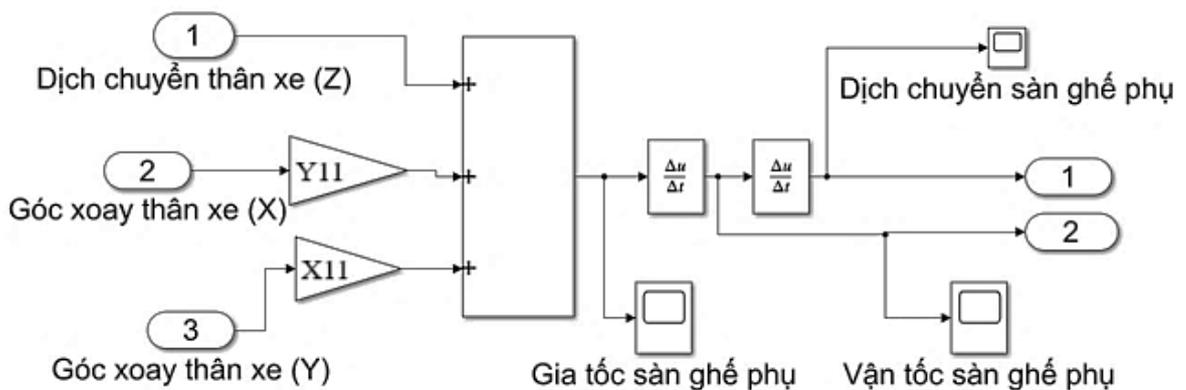
Hình 3.9. Sơ đồ tính chuyển vị tại vị trí ghế ij trên sàn xe

Giá trị các vị trí tọa độ X_{ij} của hai vị trí ghế ngồi: Ghế hàng 3, ghế phụ, trong đó vị trí tọa độ trọng tâm xe O_1 được xác định trên mô hình 3-D với thiết kế xe thực có độ chính xác cao.

3.3.3. Tín hiệu kích thích lên ghế

Tín hiệu kích thích lên ghế là giá trị dao động $Z_s(i)$, $i = 1, 2$ tại mỗi vị trí ghế khảo sát. Các giá trị dịch chuyển và vận tốc dịch chuyển của dao động là hai thông số đầu vào tạo ra tín hiệu kích thích lên ghế.

Tính toán mô phỏng trong Matlab Simulink tính chuyển vị tại vị trí ghế khảo sát và nhận được tín hiệu kích thích theo biên độ, thời gian (công ra 1) và vận tốc của chuyển vị (công ra 2) cho với từng vị trí ghế hình 3.10.

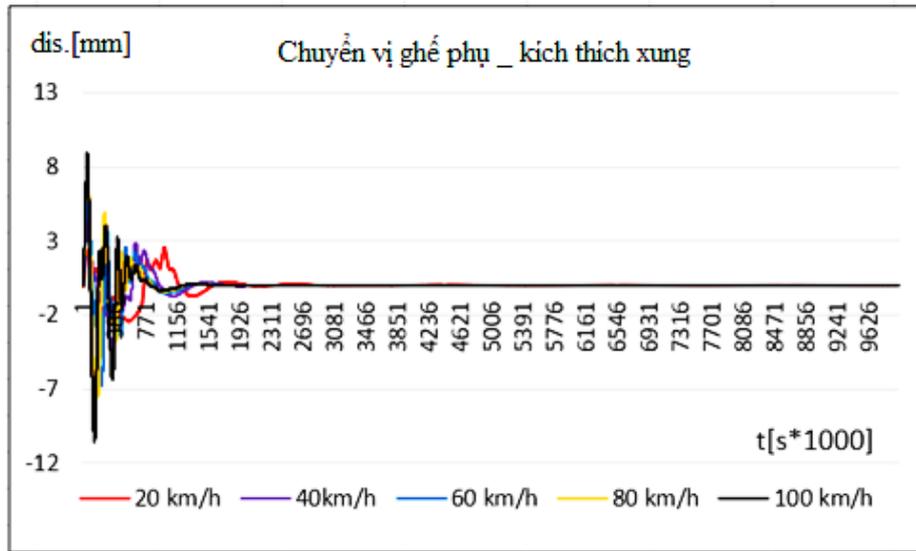


Hình 3.10 Sơ đồ Simulink khối tính tín hiệu kích thích lên ghế phụ

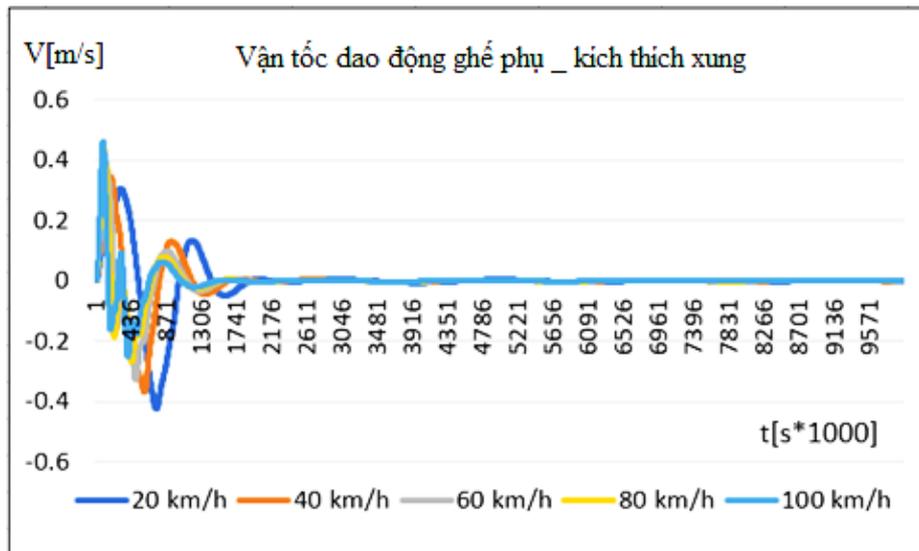
Lập chạy chương trình Simulink độc lập từng lần để khảo sát những trường hợp đặc trưng ảnh hưởng đến dao động gồm :

- Vị trí ghế trên xe
- Xe chạy trên đường mấp mô đã xác định
- Các vận tốc xe khác nhau

Trên hình 3.11 là đồ thị kết quả dịch chuyển của dao động tại ghế phụ ở 5 dải vận tốc xe chạy trong mô phỏng đã được xác định.



a) Chuyển vị ghế phụ



b) Vận tốc dao động ghế phụ

Hình 3.11 Đồ thị kích thích lên ghế phụ khi xe chạy qua nắp mô xung

Khảo sát đầy đủ các trường hợp nắp mô và vận tốc xe chạy ta nhận được 2 vị trí ghế *5 vận tốc xe = 10 file dữ liệu chứa kết quả. Trong mỗi file dữ liệu có chứa hai dữ liệu con là dịch chuyển (mm) và vận tốc dao động (m/s). Sử dụng Excel ghi đọc lập kết quả ta có tổng số “sheet” kết quả khảo sát kích thích lên ghế là $10 * 2 = 20$ sheet kết quả của mỗi vị trí ghế. Cả hai vị trí ghế ta nhận được 40 sheet dữ liệu dạng excel. Tên các file kết quả nêu trong bảng 3.1.a,b.

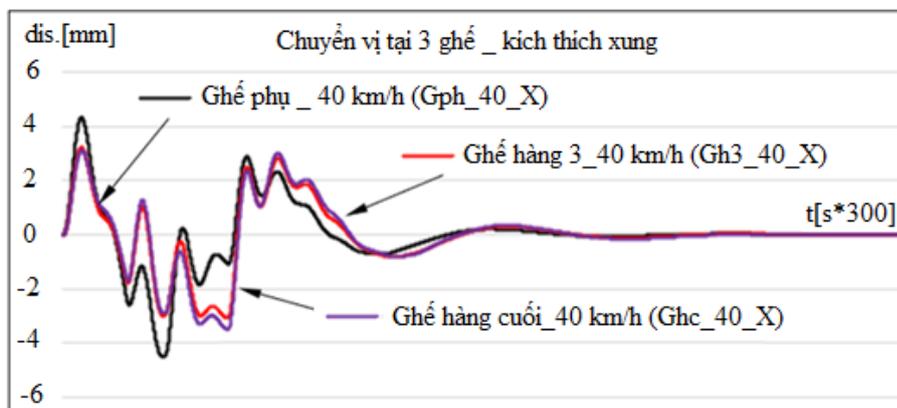
Việc đặt tên file sẽ tránh được sự nhầm lẫn trong khảo sát do số trường hợp khảo sát rất lớn và sẽ phù hợp với lựa chọn trường hợp cụ thể trong thí nghiệm. Bảng 3.1 a Danh sách các file kết quả khảo sát tín hiệu kích thích lên ghế phụ

	20 km/h	40 km/h	60 km/h	80 km/h	100 km/h
Mấp mô Sin	Ghp_S_20	Ghp_S_40	Ghp_S_60	Ghp_S_80	Ghp_S_100
Mấp mô Xung	Ghp_X_20	Ghp_X_40	Ghp_X_60	Ghp_X_80	Ghp_X_100
Mấp mô ISO 8608	Ghp_IS_20	Ghp_IS_40	Ghp_IS_60	Ghp_IS_80	Ghp_IS_100

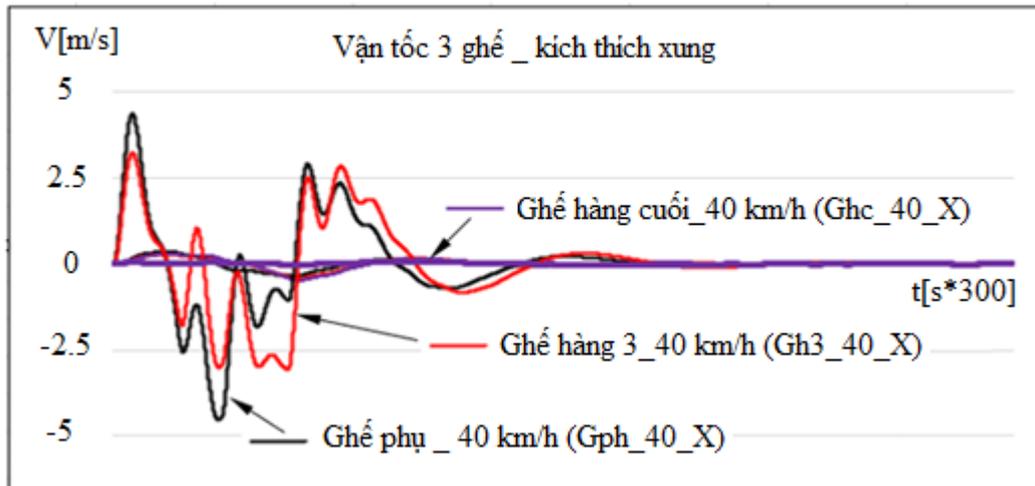
Bảng 3.1.b File kết quả khảo sát tín hiệu kích thích lên ghế hàng 3

	20 km/h	40 km/h	60 km/h	80 km/h	100 km/h
Mấp mô Sin	Gh3_S_20	Gh3_S_40	Gh3_S_60	Gh3_S_80	Gh3_S_100
Mấp mô Xung	Gh3_X_20	Gh3_X_40	Gh3_X_60	Gh3_X_80	Gh3_X_100
Mấp mô ISO 8608	Gh3_IS_20	Gh3_IS_40	Gh3_IS_60	Gh3_IS_80	Gh3_IS_100

So sánh một kết quả cụ thể xe chạy trên đường mấp mô xung, vận tốc 40 km/h trên các ghế phụ, ghế hàng 3 để phân tích kết quả. Trên hình 3.12.a,b là kết quả chuyển vị tại 2 vị trí ghế tương ứng.



a) Chuyển vị trên 2 vị trí ghế



b) Vận tốc dao động 2 vị trí ghế

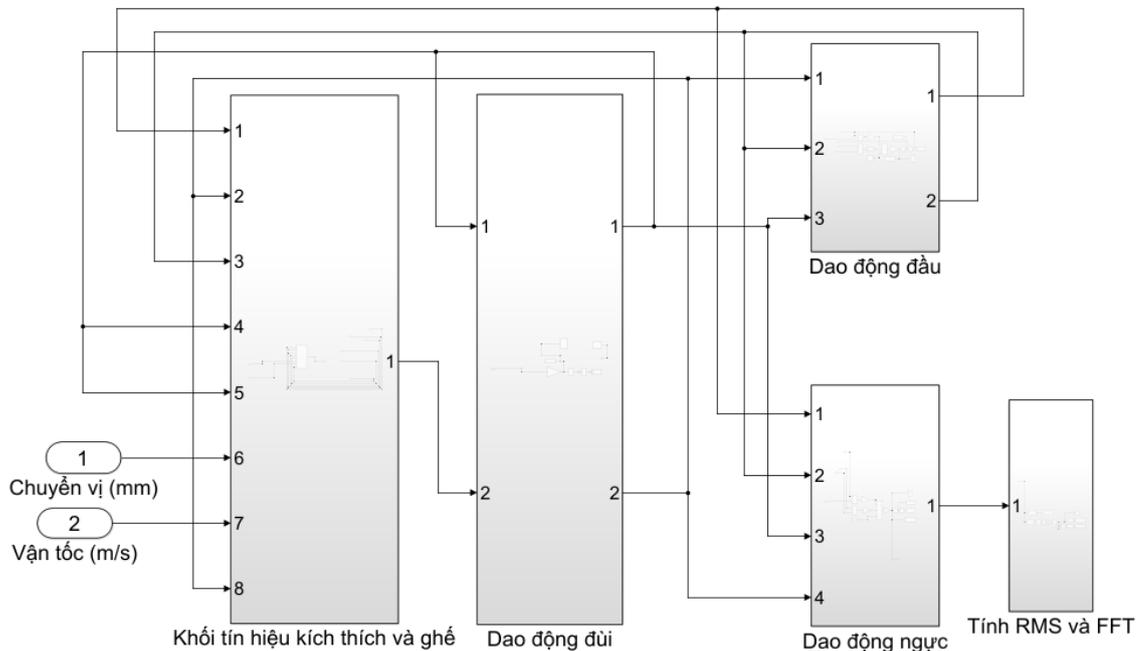
Hình 3.12 Đồ thị so sánh chuyển vị và vận tốc dao động trên 2 vị trí ghế, vận tốc xe chạy 40 km/h

Trong khoảng 3 giây đầu tiên là thời gian bánh xe trèo lên mấp mô, dao động với biên độ dịch chuyển -4.7 đến $+4.5$ (mm), vận tốc dao động tương ứng từ -4.5 đến 4.3 (m/s). Sau khi xe ra khỏi mấp mô, ghế vẫn còn dao động thêm một thời gian do quán tính của các thông số khối lượng xe, độ cứng và giảm chấn hệ thống treo trên xe tạo ra.

Hai thông số chuyển vị và vận tốc dao động có dạng là hàm điều hòa kích thích lên ghế có người ngồi trên đó trong quá trình xe chạy.

3.3.4. Mô phỏng dao động người ngồi trên ghế

Từ sơ đồ mô phỏng chung ở trên, triển khai các khối mô phỏng dao động người ngồi trên mỗi hàng ghế để phân tích. Cập nhật các thông số đã được xác nhận trong bảng thông số đặc tính ở trên. Sơ đồ khối mô phỏng dao động người tại 2 vị trí ghế ngồi và 3 vị trí phân tích dao động tại đầu, ngực và đùi với hai tín hiệu kích thích đầu vào số 1 và số 2 đã được mô phỏng và phân tích ở phần trên nêu trên hình 3.13.



Hình 3.13 Sơ đồ khối Simulink mô phỏng dao động người ngồi trên ghế

Gia tốc dao động ở mỗi vị trí trên cơ thể đưa vào mô đung tính RMS và phân tích FFT trong Simulink sẽ cho ta giá trị RMS và FFT.

Ghế gồm hai bộ phận chân ghế và đệm ghế. Các thông số độ cứng, cản giảm chấn của chân ghế và đệm ghế đã xác định được ở trên và cập nhật vào chương trình mô phỏng. Khối lượng ghế được cộng thêm cả khối lượng người ngồi trên ghế. Trọng lượng ghế được nhân với gia tốc trọng trường để xác định ảnh hưởng của gia tốc trọng trường đến dao động theo phương thẳng đứng.

Chạy chương trình trong thời gian 10 (s) sau đó lấy kết quả từng vị trí ghế ngồi. Bốn tọa độ suy rộng có dịch chuyển theo phương thẳng đứng cho 4 kết quả tương ứng. Ở đây ta chỉ xét dao động ở 3 vị trí cơ thể là gia tốc phần mình có dịch chuyển Z_m , gia tốc phần đầu có dịch chuyển Z_d và gia tốc phần ngực có dịch chuyển Z_n .

Tương tự phân tích tín hiệu kích thích lên ghế, khảo sát đầy đủ các trường hợp, ta nhận được 40 sheet dữ liệu dạng excel. Tên các file kết quả nêu trong bảng 3.2.a,b. Với 3 vị trí khảo sát trên cơ thể, số sheet dữ liệu sẽ là 40 sheet * 3 vị trí đầu, ngực và chân = 120 sheet.

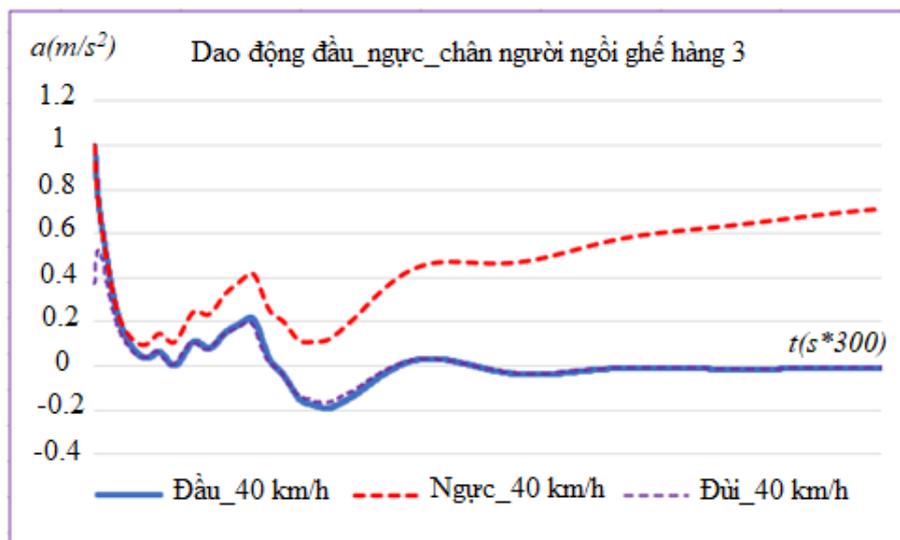
Bảng 3.2 a Danh sách các file kết quả khảo sát dao động trên đầu người ngồi trên ghế phụ

	20 km/h	40 km/h	60 km/h	80 km/h	100 km/h
Mấp mô Sin	NpS20d	NpS40d	NpS60d	NpS80d	NpS100d
Mấp mô Xung	NpX20d	NpX40d	NpX60d	NpX80d	NpX100d
Mấp mô ISO 8608	NpIS20d	NpIS40d	NpIS60d	NpIS80d	NpIS100d

Bảng 3.2.b Danh sách các file kết quả khảo sát dao động người ngồi trên ghế hàng 3

Mấp mô Sin	N3S20d	N3S40d	N3S60d	N3S80d	N3S100d
Mấp mô Xung	N3X20d	N3X40d	N3X60d	N3X80d	N3X100d
Mấp mô ISO 8608	N3IS20d	N3IS40d	N3IS60d	N3IS80d	N3IS100d

Khảo sát đầy đủ các trường hợp mấp mô và vận tốc xe chạy, kết quả nhận được dao động tại 2 vị trí người ngồi trên ghế, mỗi người ngồi cũng nhận được 3 vị trí đầu, ngực và đùi. Hình 3.14 là kết quả mô phỏng dao động trên cơ thể người ngồi hàng ghế 3.



Hình 3.14 Đồ thị kết quả mô phỏng dao động trên người ngồi hàng ghế 3

Tại thời điểm bánh xe trèo lên mấp mô xung, xe dao động tạo ra tín hiệu kích thích lên ghế làm người ngồi tiếp nhận ngay dao động sau đó giảm biên độ và tiếp tục dao động đến khi bánh xe ra khỏi mấp mô và tiếp xúc ổn định với mặt đường. Gia tốc dao động tại thời điểm ban đầu là lớn nhất trên ngực và đầu, đến 1 m/s^2 , trên đùi gia tốc là 0.5 m/s^2 . Trên ngực, sau khi bánh xe ra khỏi mấp mô, lăn trên đường, gia tốc có xu thế tăng nhưng tốc độ tăng ổn định, phân tích kết quả trên đồ thị với đủ thời gian mô phỏng cho thấy gia tốc trên ngực giảm cùng gia tốc với đầu và đùi xung quanh giá trị 0.3 m/s^2 theo hướng của trục hoành trên đồ thị.

3.4. PHÂN TÍCH KẾT QUẢ

3.4.1. Giới hạn phân tích kết quả và hệ trục tọa độ trên người

Mức độ thoải mái của người ngồi trên xe đánh giá chỉ tiêu êm dịu chuyển động của ô tô, phụ thuộc vào mức độ dao động từng bộ phận khác nhau của cơ thể người.

Dao động là những dao động cơ học dạng điều hòa hoặc không điều hòa có tần số lớn và biên độ nhỏ.

Rung xóc là những dao động không điều hòa có tần số thấp và biên độ lớn.

Dao động xuất hiện khi trọng tâm hoặc trục đối xứng của vật xe dịch trong không gian theo chu kỳ theo nhiều chiều thẳng đứng, chiều ngang hoặc nhiều hướng.

Có hai loại dao động trên cơ thể người:

Rung toàn thân, chủ yếu có tần số thấp từ $2 - 20\text{Hz}$, ở tần số này về vùng rung xóc, và tần số rất thấp dưới 2Hz . Rung toàn thân cũng có thể gặp ở tần số cao.

Rung cục bộ, tần số cao trên 20Hz . Rung cục bộ chủ yếu theo đường tay, ở những người sử dụng công cụ cầm tay hoặc tài xế cầm vô lăng lái.

Giới hạn của nghiên cứu:

- Chỉ tập trung vào nghiên cứu dao động, không nghiên cứu về rung xóc.

- Hệ trục tọa độ theo 3 phương có gốc hệ trục tọa độ gắn liền với cơ thể người

Z – Trục thẳng đứng, vuông góc với mặt đất và hướng từ chân lên đầu.

X – Trục nằm ngang, hướng từ lưng ra ngực.

Y – Trục nằm ngang, hướng từ vai phải sang vai trái.

3.4.2. Phân tích dao động từng bộ phận trên cơ thể người ngồi trên ghế

Mô hình cơ thể người là một hệ cơ – sinh học được mô hình hóa thông qua mô hình dao động và mô phỏng trong phần mềm Matlab-Simulink cho kết quả là những bộ dữ liệu về các thông số dao động tương ứng với các yếu tố ảnh hưởng gồm:

- Các vị trí ghế ngồi trên xe
- Mỗi bộ phận trên cơ thể người
- Trọng lượng cơ thể người
- Loại mấp mô mặt đường
- Vận tốc xe chạy

Trong giả thiết nghiên cứu của Luận án, trọng lượng cơ thể người đã được xác định cụ thể đối với người Việt Nam với cân nặng trung bình 60 kg. Như vậy bốn yếu tố còn lại sẽ ảnh hưởng đến kết quả phân tích.

Bảng 3.3 Thông số dao động ở vị trí đầu người ngồi trên ghế phụ

Điểm tính	Gia tốc dao động trên đầu người ngồi ghế phụ a_w (m/s^2), INpX40d				
	Loại mấp mô: XUNG				
1	V=20 km/h	V=40 km/h	V=60 km/h	V=80 km/h	V=100 km/h
2	0.2678013	0.2310214	0.182552	0.168358	0.1635692
3	0.2687775	0.2302374	0.182005	0.16794	0.1632501
...	0.2697409	0.2294542	0.181459	0.167524	0.162934
...	0.2706914	0.2286717	0.180915	0.16711	0.162621
9998	0.2725541	0.2271095	0.179831	0.166292	0.162004
9999	0.2734661	0.2263297	0.179292	0.165886	0.1617001
10000	0.2743652	0.225551	0.178754	0.165484	0.1613993

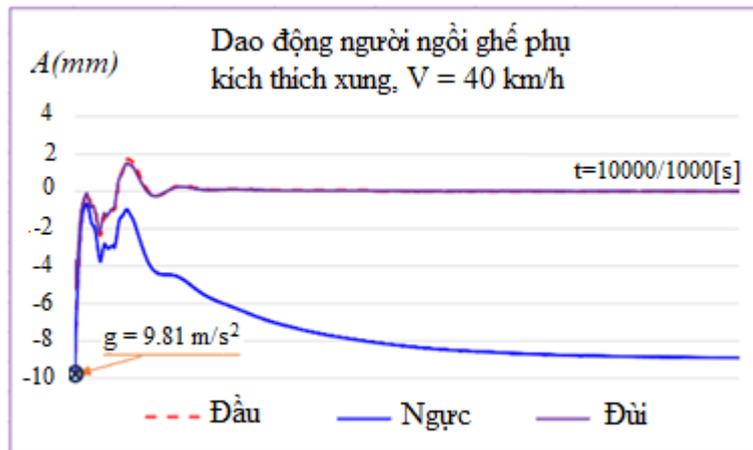
Bộ dữ liệu thu được về các thông số dao động ở vị trí đầu người ngồi trên ghế ở chế độ xe chạy 40 km/h trên đường mấp mô Xung trình bày trong Phụ lục 3.7, một dạng thống kê dữ liệu nêu trong bảng 3.3.

Tương ứng với bảng số là đồ thị dao động từng vị trí cơ thể tại đầu, ngực và đùi.

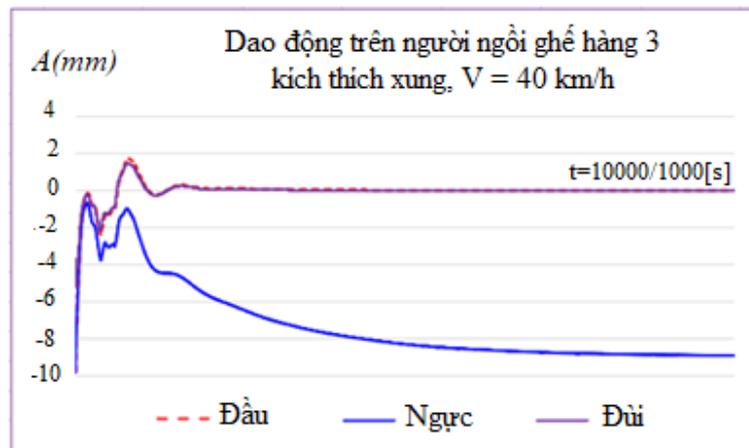
3.4.2.1. Trong miền thời gian

a) Biên độ dao động

Kết quả nhận được các đồ thị biên độ dao động người trên hai vị trí ghế ngồi trong miền thời gian hình 3.15.



a) Biên độ dao động người ngồi ghế phụ



b) Biên độ dao động người ngồi ghế hàng 3

Hình 3.15 Biên độ dao động cơ thể người theo vị trí ghế trong miền thời gian

Thời gian mô phỏng 10 (s) với 10000 điểm tính, giá trị tỷ lệ vẽ đồ thị là 1000 được biểu diễn trên trục hoành, trục tung là giá trị biên độ dao động tính bằng A(mm). Điểm gốc tọa độ của đường cong sẽ thấp nhất do đây là giá trị của gia tốc trọng trường $g = 9.81 \text{ m/s}^2$, và khi thắng được lực trọng trường thì hệ sẽ bắt đầu xuất hiện dao động, tiếp sau đó là vùng ổn định.

b) Đánh giá tính êm dịu chuyển động của ô tô

Trong khoảng thời gian 0 – 3 (s) đầu tiên, tại thời điểm bánh xe tiếp xúc với mấp mô sin hoặc xung hoặc đường ISO 8608, điểm đầu của các đường cong trên đồ thị là gia tốc trọng trường. Trong vùng ổn định cho thấy gia tốc ngược thấp hơn so với gia tốc đầu và đuôi ở cả hai vị trí. Các gia tốc này khác nhau là do có sự khác nhau về độ cứng của mỗi bộ phận cơ thể. Các giá trị RMS cụ thể của gia tốc được thống kê trong bảng 3.4.

Bảng 3.4 Thống kê các giá trị gia tốc dao động người theo RMS (m/s^2)

	Đầu	Ngực	Đùi
Mấp mô Sin	0.378	0.38	0.379
Mấp mô Xung	0.65	0.67	0.68
Mấp mô ngẫu nhiên	0.185	0.19	0.187
Mấp mô ISO 8608	0.315	0.313	0.315

Các giá trị RMS này được sử dụng để đánh giá độ êm dịu chuyển động của xe khảo sát theo tiêu chuẩn ISO 2361-1 theo điều kiện chủ quan nêu trong Bảng 3.5.

Bảng 3.5 Các điều kiện đánh giá độ êm dịu ô tô

a_{wz} giá trị (m/s^2)	Cấp êm dịu
<0.315	Thoải mái
0.315 -0.63	Một chút khó chịu
0.5 -1	Khá khó chịu
0.8 - 1.6	Không thỏa mái
1.25 - 2.5	Rất khó chịu
> 2	Cực kỳ khó chịu

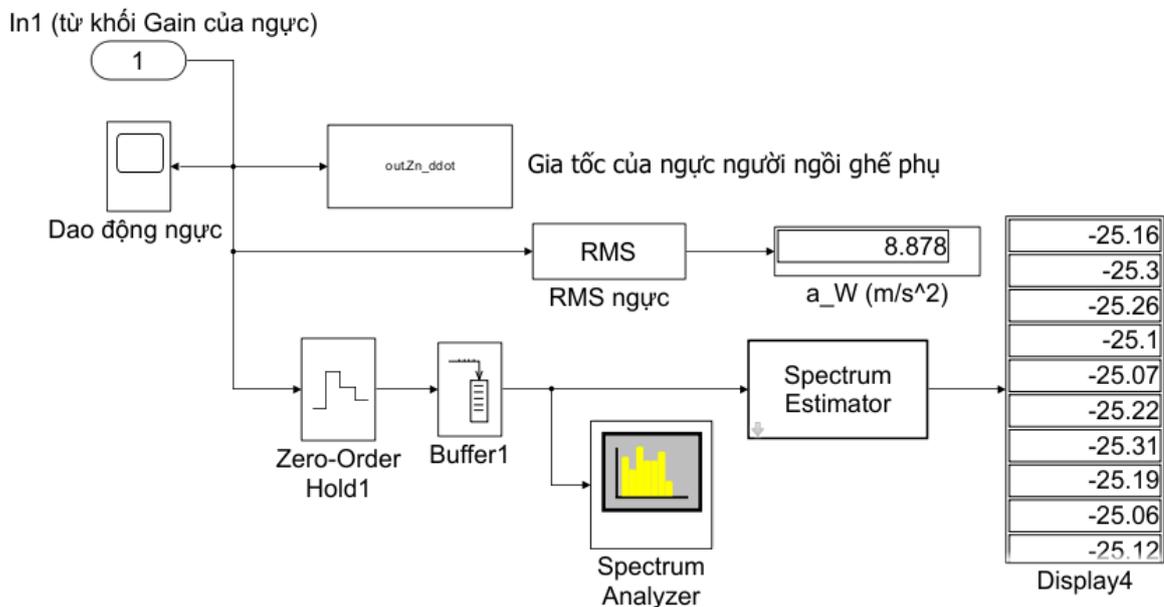
So sánh hai bảng 3.4 và 3.5 cho kết quả đánh giá cụ thể độ êm dịu chuyển động của xe ở vận tốc $V = 40 \text{ km/h}$, trên đường mấp mô Sin là một chút khó chịu, trên đường mấp mô Xung là khá khó chịu, trên đường mấp mô ISO 8608 cũng là một chút khó chịu nhưng sát với mức khá thoải mái.

Tương tự, bằng mô phỏng có thể xét đầy đủ các trường hợp với điều kiện chuyển động khác nhau để đánh giá độ êm dịu chuyển động của xe.

3.4.2.2. Trong miền tần số

a) Xây dựng sơ đồ phân tích FFT trong miền tần số

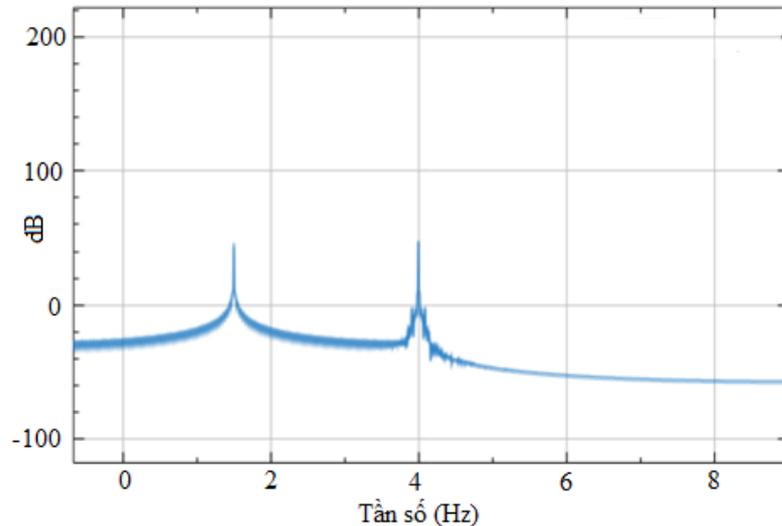
Phân tích FFT và phân tích phổ công suất dao động bằng ứng dụng mô đun “Spectrum” trong phần mềm Simulink cho từng vị trí trên cơ thể người để xác định dao động trong miền tần số. Trên hình 3.16 là sơ đồ khối phân tích dao động ngực người ghế phụ. Tương ứng với 2 vị trí ghế và 3 bộ phận khảo sát trên cơ thể, cần có 6 sơ đồ và 6 dạng kết quả.



Hình 3.16 Sơ đồ Simulink phân tích phổ công suất dao động.

Giá trị RMS của gia tốc từng vị trí cũng nhận được để đánh giá mức độ dao động trên người. Trên hình cho thấy ở chế độ mấp mô xung, vận tốc xe 40 km/h , giá trị RMS trên ngực là 8.878 m/s^2 .

Quan sát trên đồ thị hình 3.17 cho thấy ở tần số thấp, mật độ phổ công suất phân bố dày và biên độ cao hơn ở vùng tần số cao.



Hình 3.17 Phổ tần số dao động trên ngực người ngồi ghế hàng 3

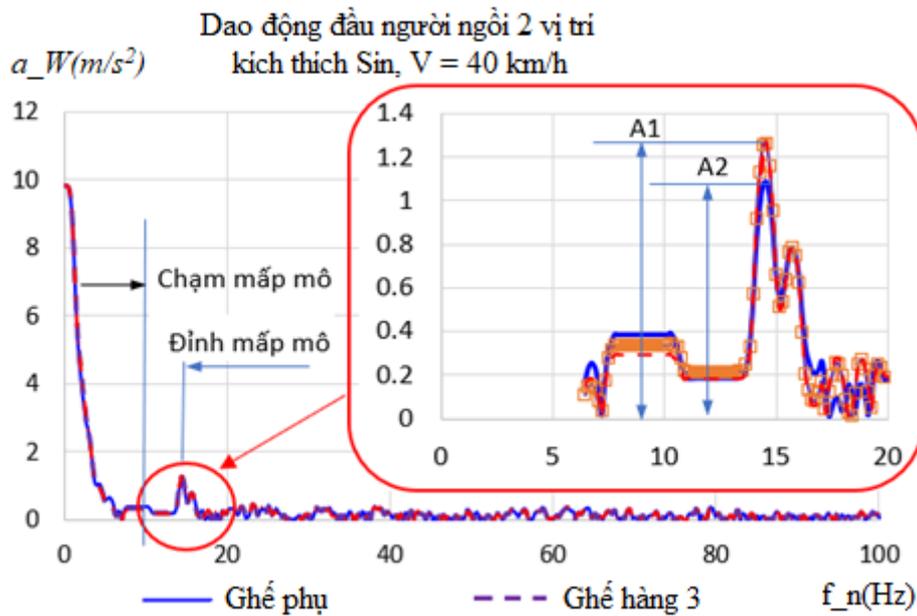
Kết quả khảo sát theo yếu tố loại mấp mô mặt đường cho thấy dao động trên các bộ phận đầu, ngực, đùi người ngồi trên ghế cũng có hình dáng đồ thị tương ứng với đồ thị mô tả mấp mô mặt đường. Ở phần trên đã thống kê, mỗi vị trí cơ thể đều được khảo sát ở 3 loại mấp mô và 5 chế độ vận tốc xe chạy. Như vậy 1 vị trí trên người sẽ có : 1 vị trí * 5 vận tốc xe = 5 đường cong tương ứng. Tập hợp theo dạng mấp mô trên cùng trên một đồ thị chung ta sẽ có 3 đồ thị độc lập, mỗi đồ thị có 5 đường cong với 5 chế độ vận tốc xe chạy mô tả dao động mỗi bộ phận trên cơ thể theo mấp mô sin, xung và ISO 8608 tương ứng.

Theo tiêu chuẩn ISO 8608 phạm vi tần số dao động ảnh hưởng đến người tại ngực là 80 (Hz) nên ta sẽ khảo sát trong khoảng tần số đến 100 Hz. Ở bàn tay có phạm vi tần số 50 – 200 (Hz) do cầm vào vật rung, trong trường hợp hành khách trên xe không tiếp xúc với vật rung tại bàn tay nên ta không khảo sát vùng tần số này.

b) Trường hợp mấp mô sin

Bánh xe trước phải đi qua mấp mô, chuyển động đến đỉnh trong vùng tần số 0 – 6 (Hz), trong khoảng này gia tốc giảm dần so với gia tốc trọng trường,

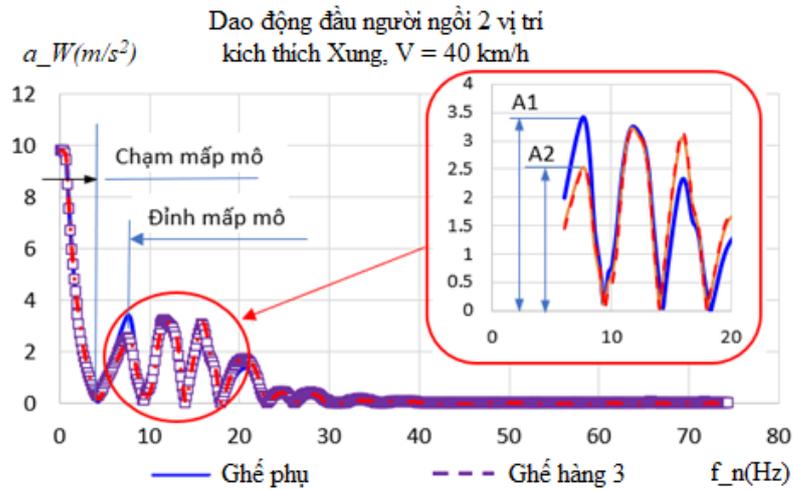
các thành phần đàn hồi của hệ thống treo bị ép lại. Tại đỉnh mấp mô bánh xe rời khỏi mấp mô tiếp xúc một khoảng đến khi bánh xe chạm đất làm cho hệ thống treo dao động. Gần đúng ta có thể coi dao động người ngồi trên ghế tương ứng với dao động của xe. Trên đầu, gia tốc lớn nhất ở vùng tần số dưới 20 (Hz) hình 3.18. Dao động đầu người ngồi ghế phụ có gia tốc dao động $A_1 = 1.1 \text{ (m/s}^2\text{)}$ thấp hơn vị trí dao động đầu người ngồi hàng 3 với gia tốc là $A_2 = 1.3 \text{ (m/s}^2\text{)}$.



Hình 3.18 Đồ thị dao động trong miền tần số trên đầu ở 2 vị trí ghế ngồi, mấp mô Sin.

c) Trường hợp mấp mô xung

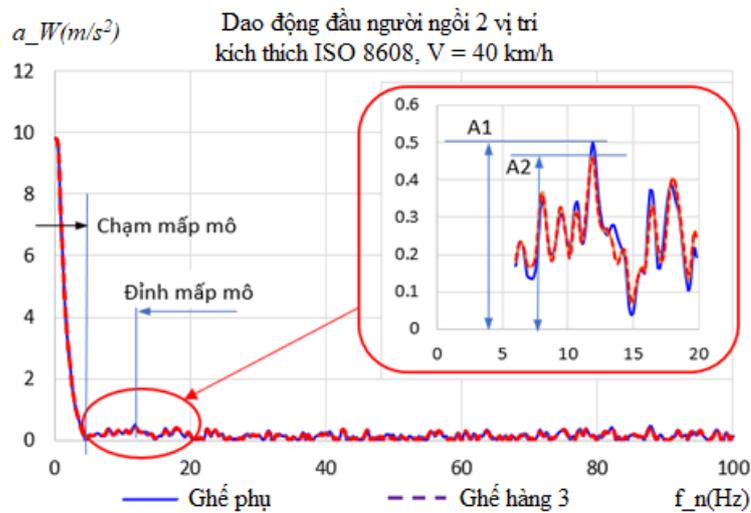
Quá trình dao động xảy ra giống như trường hợp mấp mô sin. Ở vùng tần số 0 – 6 (Hz) cũng là quá trình bánh xe trước trái đi qua mấp mô, chuyển động đến đỉnh, gia tốc dao động giảm dần so với gia tốc trọng trường. Sau khi tách bánh dao động người ngồi trên ghế còn tiếp tục diễn ra do quán tính các khối lượng của hệ dao động. Gia tốc dao động trong mấp mô xung cao hơn trường hợp mấp mô sin. Trên đầu gia tốc lớn nhất cũng ở vùng tần số dưới 20 (Hz), hình 3.19. trên đầu người ngồi ghế phụ có gia tốc dao động $A_1 = 3.4 \text{ (m/s}^2\text{)}$ cao hơn vị trí ghế hàng 3 với gia tốc là $A_2 = 2.5 \text{ (m/s}^2\text{)}$.



Hình 3.19 Đồ thị dao động trong miền tần số trên đầu ở 2 vị trí ghế ngồi, mấp mô Xung

d) Trường hợp mặt đường ISO 8608

Quá trình dao động xảy ra giống như trường hợp mấp mô sin và mấp mô xung. Ở vùng tần số 0 – 6 (Hz) cũng là quá trình tạo dao động ban đầu sau đó là quá trình chuyển động ổn định, dao động người ngồi trên ghế diễn ra chủ yếu do quán tính các khối lượng của hệ dao động. Gia tốc dao động trong trường hợp này thấp hơn hai trường hợp trên. Trên đầu, gia tốc lớn nhất cũng ở vùng tần số dưới 20 (Hz), người ngồi ghế phụ có gia tốc dao động $A_1 = 0.5 (m/s^2)$, cao hơn vị trí ghế hàng 3 với gia tốc là $A_2 = 0.45 (m/s^2)$ hình 3.20.



Hình 3.20 Đồ thị dao động trong miền tần số trên đầu ở 2 vị trí ghế, mấp mô ISO 8608

Nhận xét :

- Dao động xuất hiện trên các vị trí cơ thể khi bánh xe bắt đầu tiếp xúc với mấp mô hoặc vào đường ngẫu nhiên, bắt đầu từ giá trị thẳng được gia tốc trọng trường $g = 9.81 \text{ m/s}^2$.
- Ở đường mấp mô sin, dao động sẽ duy trì trong cả thời gian mô phỏng nhưng biên độ nhỏ ở những tần số cao. Ở đường mấp mô xung, dao động xuất hiện sau đó giảm dần như được dập tắt nhờ có các thông số bộ phận giảm chấn của hệ thống treo. Ở đường mấp mô ISO 8608 cũng tương tự đường mấp mô xung do gia tốc dao động theo phương thẳng đứng của xe thấp hơn khi xe vào đường mấp mô xung.
- Dao động cộng hưởng xuất hiện trên đùi người ngồi. Cả ba loại mấp mô đều gây ra cộng hưởng trên đùi, do đùi tiếp xúc trực tiếp với đệm ngồi nên cảm nhận trực tiếp dao động và kích thích dao động từ sàn xe.

3.5. SO SÁNH KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

3.5.1. Cơ sở so sánh

3.5.1.1. Các giả thiết

- Hệ dao động Xe – Ghế - Người trên đường gồm những vật rắn liên kết với nhau theo các định luật của cơ học: Xe là vật rắn đồng nhất có khối lượng tập trung tại trọng tâm; Ghế và người gồm những vật rắn liên kết với nhau có khối lượng tập trung tại trọng tâm mỗi vật.

- Các lực kích động lên mô hình tại các bánh xe được tập trung tại một điểm giữa vết bánh xe tác dụng với mặt đường (trùng với điểm kích thích trong mô hình Simulink)

- Không có chuyển động tương đối giữa Người, Ghế, Xe, mặt đường để các vật luôn tiếp xúc với nhau tại một điểm duy nhất.

- Hệ dao động không chịu tác dụng của các lực cản gió, cản dốc, cản quán tính và những lực gây ra dao động từ xe như: Dao động động cơ, hệ thống truyền lực...

3.5.1.2. Cơ sở so sánh

Để so sánh kết quả mô phỏng có thể sử dụng phương pháp thí nghiệm đo các giá trị tương ứng với mô phỏng. So sánh kết quả mô phỏng nhằm tăng thêm độ tin cậy của kết quả mô phỏng trong luận án. Thí nghiệm thường tiến hành trên đường thử để đảm bảo đầy đủ các điều kiện hoạt động của xe đều xuất hiện. Thí nghiệm trên bệ thử cũng có thể thực hiện được nhưng một số thông số sẽ được giả định. Tuy nhiên thí nghiệm cần chi phí cao và trang thiết bị đắt tiền, vì vậy nội dung thí nghiệm sẽ được trình bày trong một chương riêng.

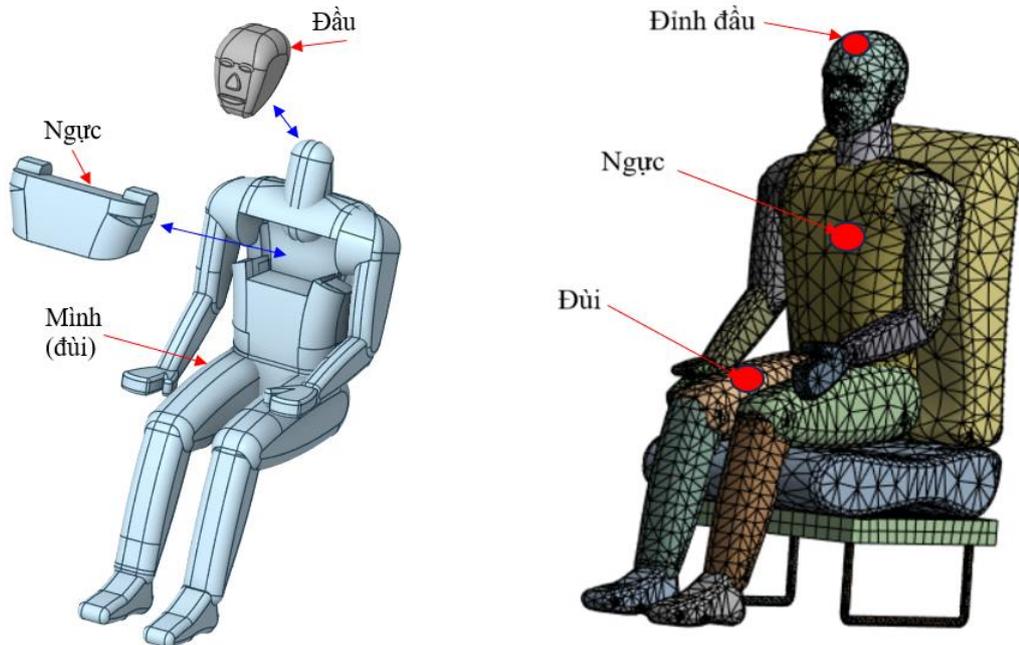
Với sự phát triển mạnh mẽ và hiện đại của máy tính cùng các quy trình mô phỏng số, mô hình mô phỏng phần tử hữu hạn ứng dụng trên ô tô mang lại những mục đích chính:

- Phân tích ứng suất, biến dạng: Kiểm tra khả năng chịu tải của kết cấu khung vỏ xe.
- Phân tích dao động, tần số: Đánh giá độ ổn định khi xe vận hành.
- Phân tích va chạm: Đảm bảo an toàn khi xảy ra va chạm.
- Kiểm tra mỏi vật liệu: Đánh giá tuổi thọ vỏ xe.

Trong nghiên cứu này, sử dụng FEM từ phân tích dao động riêng có thể xác định được mức độ dao động của người ngồi trên xe đang di chuyển để thay thế thí nghiệm thực tốn kém kinh phí và thời gian khi thay thế người ngồi bằng mô hình người ảo và có tư thế đúng với người thực. Thông số đầu ra của FEM nhận được gồm tần số, gia tốc, dịch chuyển theo phương thẳng đứng tại các điểm khác nhau của cơ thể người ngồi trên ghế.

Trên mô hình thiết kế 3-D đầy đủ xe, ghế, người ngồi với nhiều các tham số đầu vào và nhận nhiều dữ liệu đầu ra. Luận án tập trung vào thông số gia tốc

mô tả dao động theo hướng thẳng đứng từng bộ phận trên cơ thể người ngồi gồm đầu, ngực, đùi sẽ được phân tích để đánh giá kết quả mô phỏng, hình 3.21.



a) Thiết kế 3 bộ phận trên người b) Thiết kế 3-D mô hình ghế - người

Hình 3.21 Thiết kế những điểm khảo sát trên người về gia tốc thẳng đứng

Để các kết quả FEM đảm bảo được độ tin cậy, luận án đã sử dụng công cụ:

- Sử dụng phần mềm Ansys Student của chính hãng được phép sử dụng [65].
- Thiết kế và phân tích cấu trúc xe, ghế, người ngồi khảo sát đứng (gần) nhất với mô hình thực.

Các đặc tính vật liệu của mô hình FEM gồm :

Khung xương ghế được chế tạo từ vật liệu thép kết cấu thường với các thanh và tấm, bằng thép lò xo với các lò xo.

Các đệm ghế gồm đệm ngồi và đệm tựa lưng được chế tạo từ bọt FOAM, PVC có tính xốp và đàn hồi cao, có khả năng hấp thụ năng lượng va đập và dễ tạo hình. Các thành phần của xốp có liên kết ngang. Ngày nay các đệm ghế ô tô thay bằng bọt polyurethane do có khả năng phun trực tiếp trên một tấm kim

loại cứng kết nối với sàn xe. Kết cấu của bọt polyurethane bao gồm một ma trận polyme với lỗ chứa không khí mà không bị ảnh hưởng đến các tính chất cơ học của bọt. Các đặc tính tĩnh và động của bọt phụ thuộc vào cấu trúc như độ dày, mật độ, giới hạn ứng suất, biến dạng và giới hạn chảy của bọt. Nhiệt độ và tải trọng ảnh hưởng đến các đặc tính này của đệm.

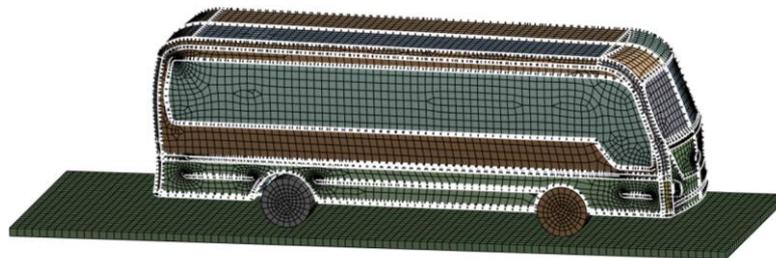
Người ngồi trên ghế được giả thiết không tính đến khung xương cơ thể, còn lại được chế tạo bằng cùng một loại vật liệu nhựa Plastic, Polyester là loại nhựa không bão hòa có tính đúc cao, tính dẻo cao.

Đặc tính của các loại vật liệu mô hình được nêu trong phụ lục 3.8

3.5.2. Mô hình hóa các vị trí ghế ngồi trên xe

Dựa vào mô hình CAD 3D ô tô khách 29 chỗ County từ nhà sản xuất, sử dụng phần mềm Ansys Workbench tiến hành xây dựng mô hình phần tử hữu hạn. Thân xe được chia lưới dạng vuông 40 mm, các thanh dầm kết cấu được liên kết với nhau theo dạng mối hàn cứng **bolded** và **Constrained Extra Nodes Option**. Sử dụng điều chỉnh thiết kế là nhóm các chi tiết thành các khối chi tiết 3D với số lượng tối thiểu bằng câu lệnh **Combine/ Merge** để tạo ra số vật 3D tối thiểu, phù hợp với dung lượng của máy tính trong mô phỏng chứ không phải thay đổi thiết kế xe.

Mô hình phần tử hữu hạn xe khách có 455719 nút và 229766 phần tử hình 3.22.



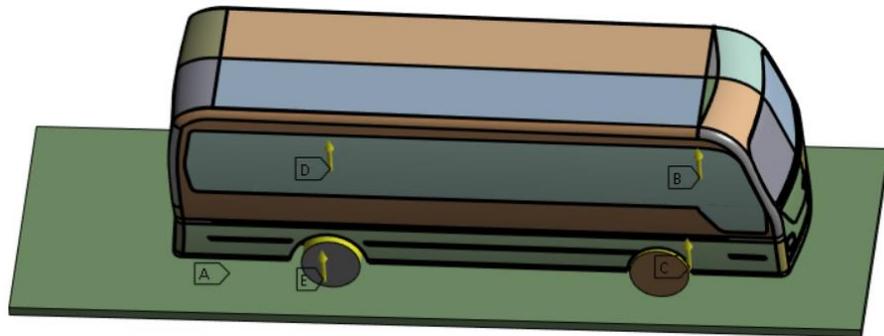
Hình 3.22 Mô hình hóa FEM xe khách 29 chỗ

Sử dụng mô đun Harmonic để đặt bài toán. Sau khi đặt các điều kiện liên kết và nhập loại vật liệu, các chế độ tải và điều kiện biên được thực hiện trên cơ sở trạng thái hoạt động thực tế của xe.

Điều kiện biên gồm :

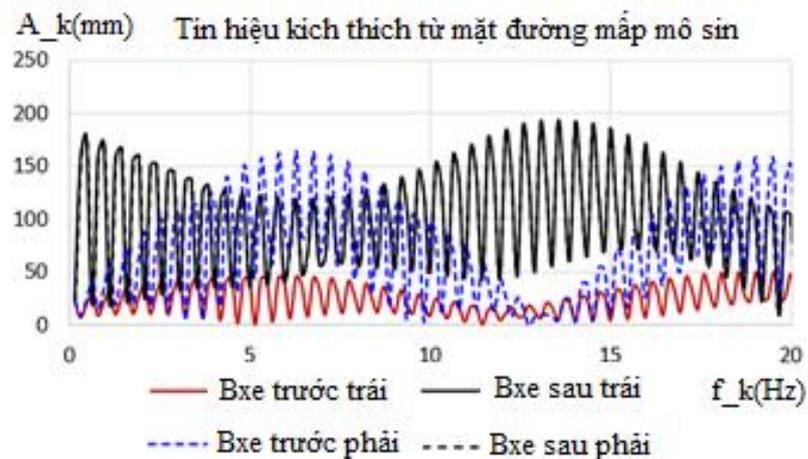
- Người ngồi có phần dưới mông tiếp xúc hoàn toàn với đệm ngồi.
- Áp lực của người đè lên đệm ngồi phân bố đều trên bề mặt tiếp xúc.

Đặt tải trên mô hình được bắt đầu từ phân tích FFT các chế độ mấp mô mặt đường ta nhận được bảng giá trị các thông số tín hiệu kích thích. Các tín hiệu kích thích đặt tại vết tiếp xúc với mặt đường và bánh xe hình 3.23.



Hình 3.23 Vị trí đặt tải trên mô hình

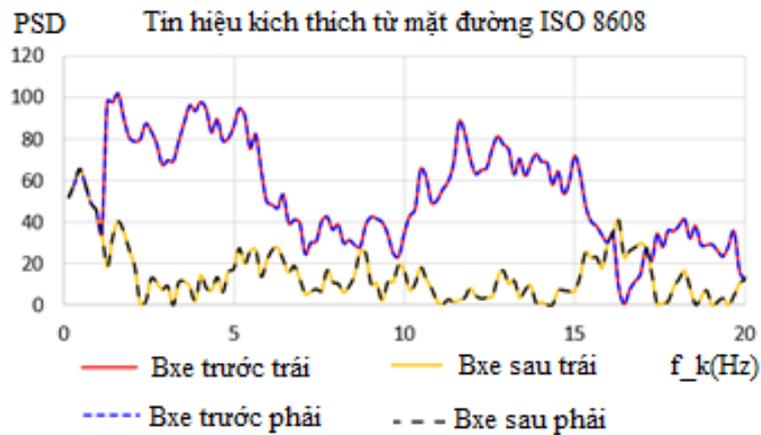
Các giá trị biên độ tần số tín hiệu kích thích dạng đồ thị tín hiệu mấp mô như hình 3.24.



a) Mấp mô Sin



b) Mấp mô Xung



c) Mấp mô ISO 8608

Hình 3.24 Đồ thị tần số - biên độ của tín hiệu từ mấp mô mặt đường

3.5.3. Kết quả mô phỏng

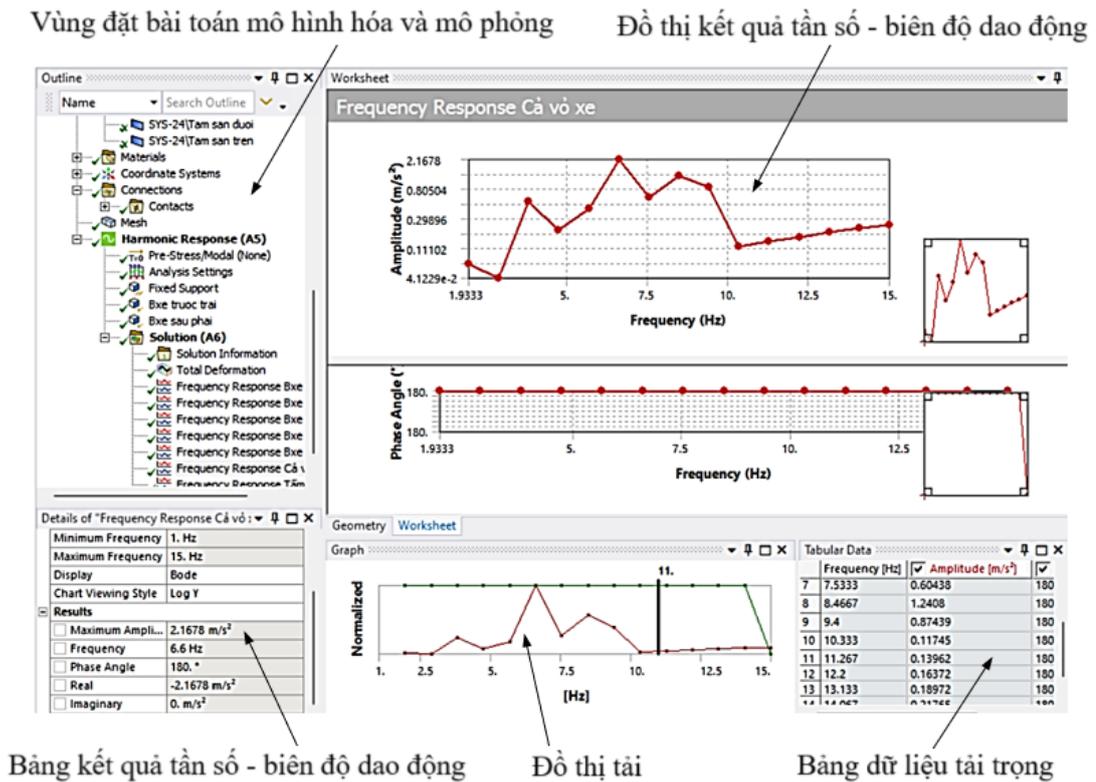
Trong mô phỏng cần giải quyết ba yếu tố chính:

- Sự gia tăng đột biến về cấu trúc nút của kết cấu nên cần khả năng tính toán của phần cứng máy tính
- Gia tăng về khối lượng dữ liệu
- Tự động tối ưu cấu trúc mạng lưới các phần tử của kết cấu.

Vì vậy khi chạy mô phỏng theo thời gian thực kết quả sẽ phụ thuộc vào năng lực tính toán và dung lượng máy tính. Loại máy tính được sử dụng: HP

Zbook Fury 15.6 inch G8 Mibile Workstation hệ điều hành Windows có bản quyền và phần mềm Ansys Workbench chính hãng [65].

Trên giao diện màn hình máy tính trong mô phỏng số có 5 vùng hoạt động chính hình 3.25.



Hình 3.25 Giao diện mô phỏng số trong phần mềm Ansys Workbench 2024R2

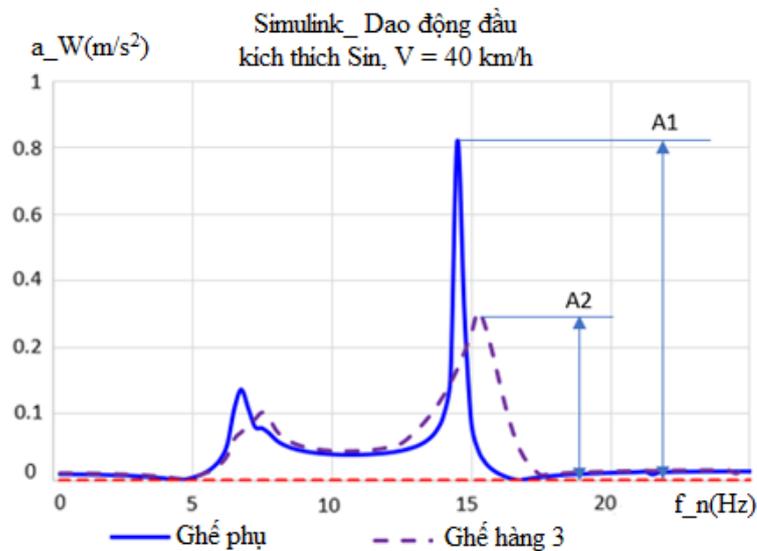
Dữ liệu thu được từ mô phỏng Matlab- Simulink và FEM rất lớn, để so sánh cụ thể đầy đủ các trường hợp sẽ cần thời gian nhiều và chiếm nhiều dung lượng máy tính. Trong điều kiện hạn chế, NCS đề xuất so sánh kết quả mô phỏng trong trường hợp kích thích SIN và chế độ vận tốc xe $V = 40 \text{ km/h}$ làm đại diện.

3.5.3.1. So sánh kết quả mô phỏng FEM dao động đầu người

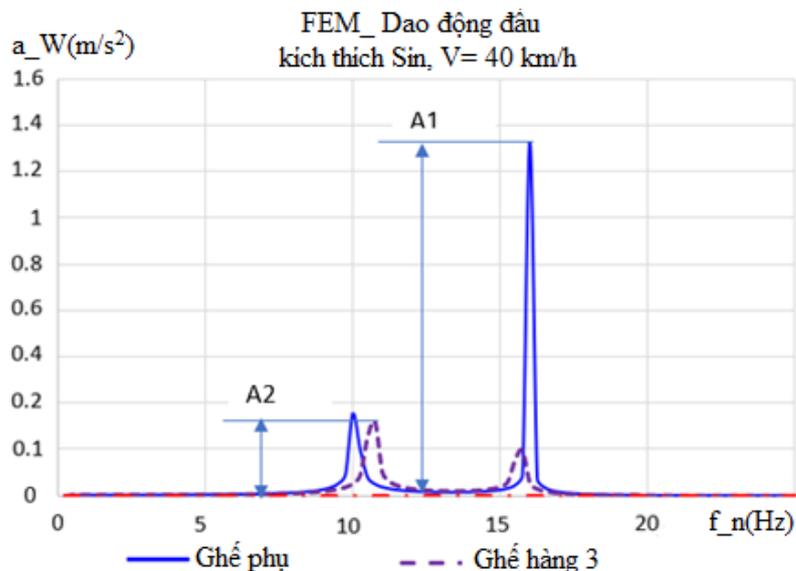
Kết quả mô phỏng FEM trên đầu người ngồi ở hai vị trí khảo sát nêu trên hình 3.26.

Người ngồi trên ghế phụ (A_1): trong mô phỏng Malab/Simulink dao động đầu người ngồi ghế phụ có gia tốc $0.82 \text{ (m/s}^2\text{)}$ ở tần số 14 (Hz) , mô phỏng FEM cao hơn là $1.33 \text{ (m/s}^2\text{)}$ ở tần số cao hơn là 16 (Hz) .

Người ngồi trên ghế hàng 3 (A_2): trong mô phỏng Malab/Simulink dao động đầu người ngồi ghế phụ có gia tốc $0.3 \text{ (m/s}^2\text{)}$ ở tần số 15.5 (Hz) , mô phỏng FEM thấp hơn là $0.16 \text{ (m/s}^2\text{)}$ ở tần số thấp hơn là 11 (Hz) .



a) Kết quả dao động đầu người dùng Malab/Simulink mô phỏng



b) Kết quả dao động đầu người dùng FEM/Ansys Workbench mô phỏng

Hình 3.26 Kết quả mô phỏng dao động đầu người ngồi trên ghế

Trong cả vùng tần số khảo sát đến 100 (Hz), bước nhảy 10 (Hz), so sánh dao động đầu người ngồi ghế phụ, kích thích Sin, $V = 40$ km/h, Bảng 3.6, mức độ sai khác nhau giữa mô phỏng Matlab/Simulink và FEM/Ansys Workbench tính bằng tỷ lệ (%) cao nhất là 18.5 (%) ở tần số 20 (Hz) và thấp nhất là 1.4 (%) ở tần số 60 (Hz).

Bảng 3.6 Gia tốc dao động đầu người ngồi ghế phụ, kích thích Sin, $V = 40$ km/h

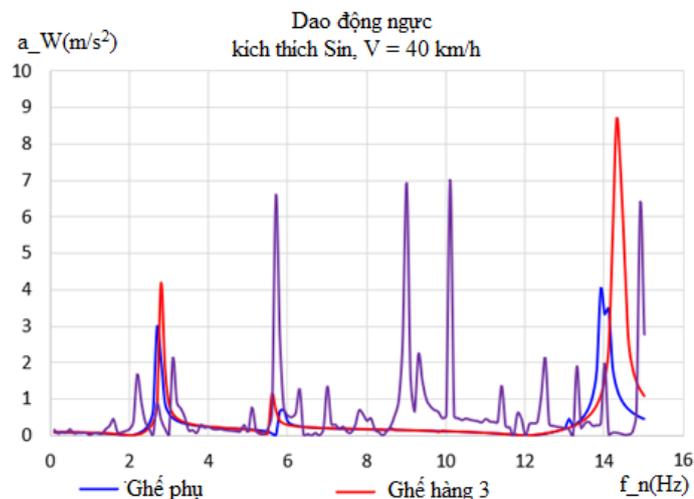
f(Hz)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Simulink	2.56	11.9	2.5	7.9	7	7.1	8.11	23	24.2	23
FEM	2.12	9.7	2.6	7.6	7.3	7.2	8.5	22.1	27.4	27.1
Sai khác nhau (%)	17.2	18.5	4.0	3.8	5.3	1.4	4.8	3.9	13.2	17.8

3.5.3.2. Kết quả mô phỏng FEM dao động ngực

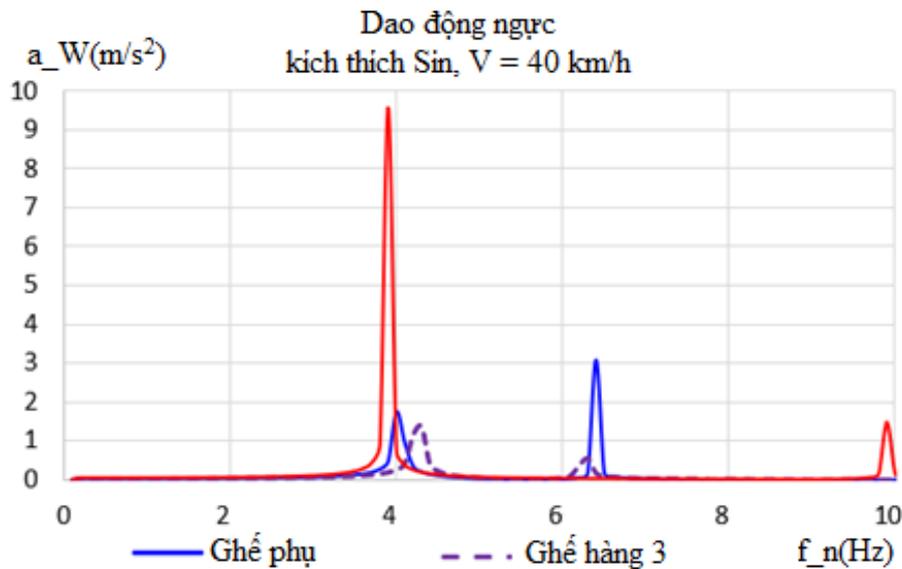
Kết quả mô phỏng trên ngực người ngồi ở hai vị trí khảo sát nêu trên hình 3.27.

Người ngồi trên ghế phụ: trong mô phỏng Malab/Simulink dao động ngực người ngồi ghế phụ có gia tốc 4 (m/s^2) ở tần số 14.2 (Hz), mô phỏng FEM thấp hơn là 3 (m/s^2) ở tần số cũng thấp hơn 6,5 (Hz).

Người ngồi trên ghế hàng 3: trong mô phỏng Malab/Simulink dao động ngực người ngồi ghế hàng 3 có gia tốc 8.5 (m/s^2) ở tần số 14.2 (Hz), mô phỏng FEM thấp hơn là 1.5 (m/s^2) ở tần số thấp hơn là 4.2 (Hz).



a) Kết quả Malab/Simulink



Hình 3.27 Kết quả mô phỏng dao động ngực người ngồi trên ghế

Trong cả vùng tần số khảo sát đến 100 (Hz), bước nhảy 10 (Hz), so sánh gia tốc dao động ngực người ngồi ghế phụ, kích thích Sin, V = 40 km/h, bảng 3.7, mức độ sai khác nhau giữa mô phỏng Matlab/Simulink và FEM/Ansys Workbench tính bằng tỷ lệ (%) cao nhất là 28.6 (%) ở tần số 40 (Hz) và thấp nhất là 2.49 (%) ở tần số 10 (Hz).

Bảng 3.7 Gia tốc dao động ngực người ngồi ghế phụ, kích thích Sin, V = 40 km/h

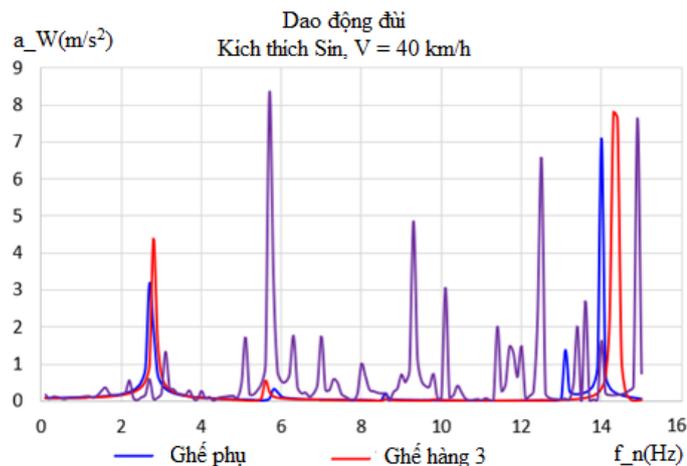
Tần số f_n (Hz)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Simulink a_w (m/s ²)	7	6.2	4.7	8.1	8.5	8.3	6.4	5.3	5.7	6.6
FEM a_w (m/s ²)	6.8	5.6	5.3	6.3	7.1	6.9	6.7	6	5.5	5.9
Sai khác nhau (%)	2.94	10.7	11.3	28.6	19.7	20.2	4.5	11.7	3.6	11.9

3.5.3.3. Kết quả mô phỏng FEM dao động đùi

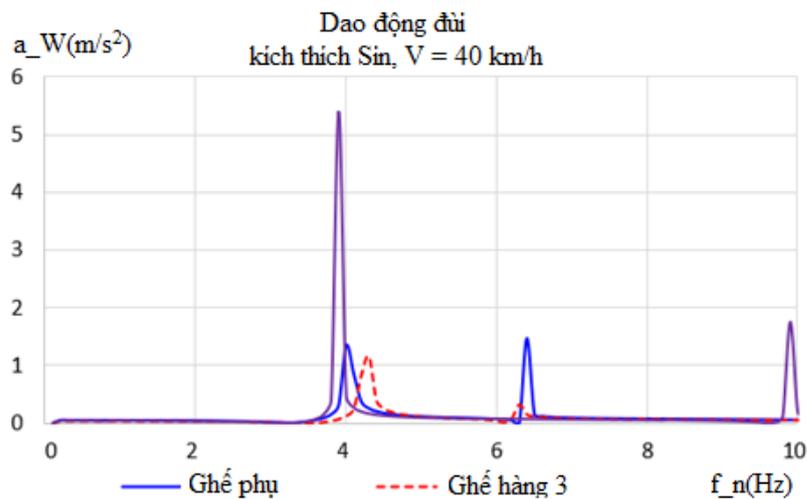
Kết quả mô phỏng FEM dao động đùi người ngồi ở hai vị trí khảo sát nêu trên hình 3.28.

Người ngồi trên ghế phụ: trong mô phỏng Malab/Simulink dao động đui người ngồi ghế phụ có gia tốc $7.1 \text{ (m/s}^2\text{)}$ ở tần số 14 (Hz) , mô phỏng FEM cao hơn là $1.6 \text{ (m/s}^2\text{)}$ ở tần số cao hơn là 6.5 (Hz) .

Người ngồi trên ghế hàng 3: trong mô phỏng Malab/Simulink dao động đui người ngồi ghế phụ có gia tốc $7.9 \text{ (m/s}^2\text{)}$ ở tần số 14.2 (Hz) , mô phỏng FEM thấp hơn là $1.1 \text{ (m/s}^2\text{)}$ ở tần số thấp hơn là 4.1 (Hz) .



a) Kết quả Malab/Simulink



b) Kết quả FEM/Ansys Workbench

Hình 3.28 Kết quả mô phỏng dao động đui người ngồi trên ghế

Trong cả vùng tần số khảo sát đến 100 (Hz) , bước nhảy 10 (Hz) , so sánh gia tốc dao động đui người ngồi ghế phụ, kích thích Sin, $V = 40 \text{ km/h}$, Bảng 3.8, mức độ sai khác nhau giữa mô phỏng Matlab/Simulink và FEM/Ansys

Workbench tính bằng tỷ lệ (%) cao nhất là 15.8 (%) ở tần số 60 (Hz) và thấp nhất là 2.9 (%) ở tần số 30 (Hz).

Bảng 3.8 Gia tốc dao động đùi người ngồi ghế phụ, kích thích Sin, $V = 40$ km/h

Tần số fn(Hz)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Simulink $a_w(m/s^2)$	3	3.2	6.6	4.1	3.7	3.2	2.8	3.1	3.9	1.4
FEM $a_w(m/s^2)$	2.8	2.9	6.8	3.9	3.5	3.8	3.1	3.6	4.4	1.3
Sai khác nhau (%)	7.1	10.3	2.9	5.1	5.7	15.8	9.7	13.8	11.4	7.7

3.5.4. So sánh kết quả mô phỏng

Trên đồ thị so sánh kết quả mô phỏng giữa Simulink và FEM có sự khác nhau do kết quả mô phỏng trong simulink có chịu ảnh hưởng của lực quán tính chuyển động thẳng làm cho số mấp mô của đồ thị nhiều hơn đối với mô hình FEM.

Sử dụng hai bộ dữ liệu trong hai mô hình mô phỏng Matlab - Simulink và trong Ansys Workbench để phân tích hồi quy xác định hệ số tương quan R^2 so sánh mức độ phù hợp của mô hình, từ cơ sở đó ta lựa chọn được mô hình tin cậy hơn. Giá trị R^2 được tính theo các mảng dữ liệu thu được với r được tính bởi phương trình (3.8).

$$r = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 \sum(y - \bar{y})^2}} \quad (3.8)$$

Trong đó : x và y là các mẫu Average(array₁) và Average(array₂). Với (array₁) là tập các giá trị độc lập của tần số, (array₂) là tập các giá trị phụ thuộc của gia tốc.

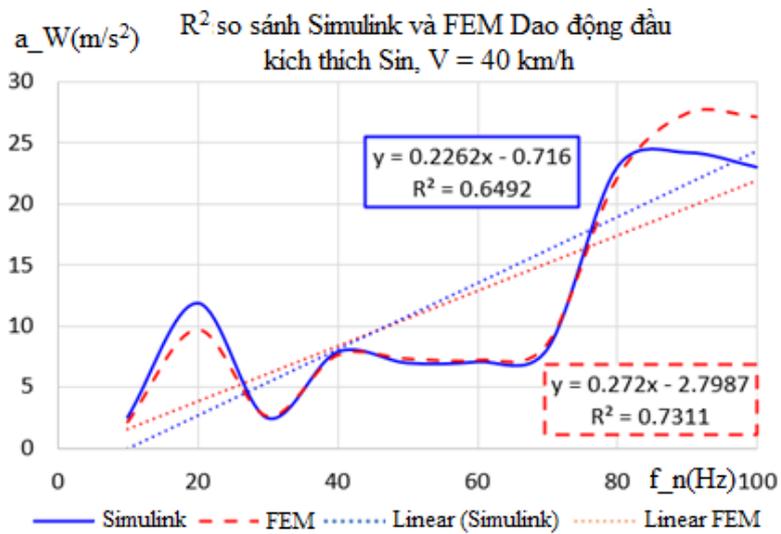
Tính trực tiếp R^2 theo độ lệch bình phương phần dư và toàn bộ ta cũng nhận được kết quả tương tự, phương trình (3.9)

$$R^2 = 1 - \left(\frac{ESS}{TSS} \right) \quad (3.9)$$

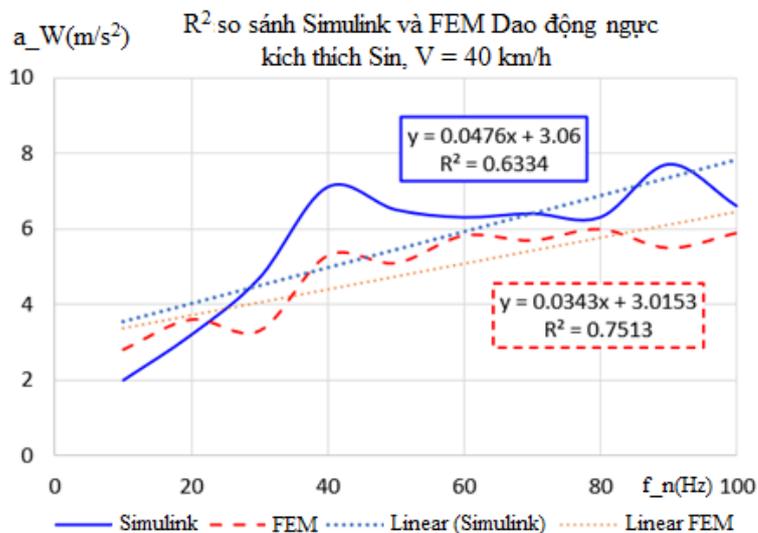
Ở đây ESS là tổng các độ lệch bình phương phần dư, TSS là tổng các độ lệch bình phương toàn bộ.

Giá trị R^2 của độ lệch bình phương dao động từ 0 đến 1, khi gần 1 thì mô hình đã xây dựng càng phù hợp với bộ dữ liệu chạy hồi quy với nhiều hệ số hồi quy vận tốc xe, mấp mô mặt đường và vị trí ghế ngồi và bộ phận khảo sát, độ cứng và hệ số đàn hồi của các liên kết trên bộ phận cơ thể, đệm ghế và độ cứng của ghế.

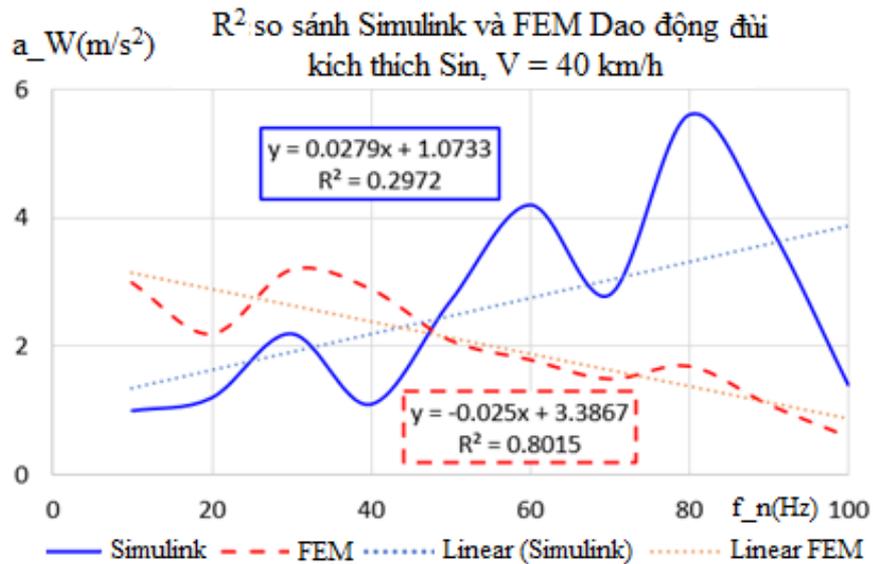
So sánh xác định giá trị bằng đồ thị độ tin cậy của phương pháp mô phỏng dao động đầu được thể hiện trên Hình 3.29.



a) R^2 dao động đầu



b) R^2 dao động ngực



Hình 3.29 Đồ thị so sánh phương pháp mô phỏng dao động người
Thống kê so sánh phương trình hồi quy và giá trị R^2 của độ lệch bình
phương dao động ta nhận được các số liệu định lượng cho thấy :

Dao động đầu : Mô phỏng FEM $R^2 = 0.731 > 0.6429$ của Simulink

Dao động ngực : Mô phỏng FEM $R^2 = 0.7513 > 0.6334$ của Simulink

Dao động đù : Mô phỏng FEM $R^2 = 0.8015 > 0.2972$ của Simulink

Bảng 3.9 Các phương trình hồi quy và giá trị của R^2

	Đồ thị mô phỏng Simulink	Đồ thị mô phỏng FEM
Trên đầu	$y = 0.2262x - 0.716$ $R^2 = 0.6492$	$y = 0.272x - 2.7987$ $R^2 = 0.7311$
Ngực	$y = 0.0476x + 3.06$ $R^2 = 0.6334$	$y = 0.0343x + 3.0153$ $R^2 = 0.7513$
Đù	$y = 0.0279x + 1.0733$ $R^2 = 0.2972$	$y = -0.025x + 3.3867$ $R^2 = 0.8015$

Nhận xét: Mô phỏng phần tử hữu hạn (FEM) có thể được sử dụng làm dữ
liệu tham chiếu để so sánh với kết quả mô phỏng Simulink. Để khẳng định độ
tin cậy của kết quả của mô phỏng.

3.6. ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG CỦA DAO ĐỘNG ĐẾN NGƯỜI NGỒI

3.6.1. Những yêu cầu đánh giá

Dựa trên kết quả mô phỏng đã được đánh giá đủ độ tin cậy, các yêu cầu đánh giá ảnh hưởng của dao động đến người ngồi trên xe gồm:

(1) Phân tích đáp ứng thời gian:

- Quan sát độ dịch chuyển và gia tốc của q_8 và q_9 khi có kích thích từ mặt đường.
- So sánh phản ứng giữa các bậc tự do chính q_1, q_2, \dots, q_7 và tác động đến q_8 và q_9 .

(2) Phân tích phổ tần số:

- Phân tích phổ tần số của gia tốc tại q_8, q_9 để xác định những tần số ảnh hưởng chính đến người ngồi.
- Đối chiếu với phổ tần số của các bậc tự do khác để xác định nguồn gốc của dao động.

(3) Phân tích độ nhạy:

- So sánh gia tốc RMS của q_8 và q_9 với các biến động của q_1, q_2, \dots, q_7 .
- Thay đổi tham số hệ thống (độ cứng K , hệ số cản C) để kiểm tra mức độ ảnh hưởng.

(4) Tiêu chuẩn ISO 2631:

- Đánh giá mức độ dao động và thoải mái của người ngồi dựa trên RMS của gia tốc.
- Sử dụng phân tích ma trận tương quan để đánh giá đầy đủ các yêu cầu này.

3.6.2. Đánh giá sự tương quan giữa các tọa độ suy rộng

Sử dụng phân tích ma trận tương quan để đánh giá sự tương quan giữa các tọa độ suy rộng. Đây là phương pháp thống kê trong khoa học và kỹ thuật để đánh giá mức độ phụ thuộc giữa các biến số. Trong phân tích hệ thống dao động của xe, ma trận tương quan cho ta hiểu được mối liên hệ giữa các bậc tự do dao

động (q_1, q_2, \dots, q_9) và xác định xem bậc tự do nào ảnh hưởng đến ghé phụ (q_8) và ghé hàng 3 (q_9).

Hệ số tương quan giữa hai biến ngẫu nhiên X và Y được xác định:

$$r_{x,y} = \frac{Cov(X,Y)}{\sigma_x \sigma_y} \quad (3.10)$$

Trong đó:

$Cov(X,Y)$ là phương sai giữa hai biến X và Y

σ_x và σ_y là độ lệch chuẩn của X và Y

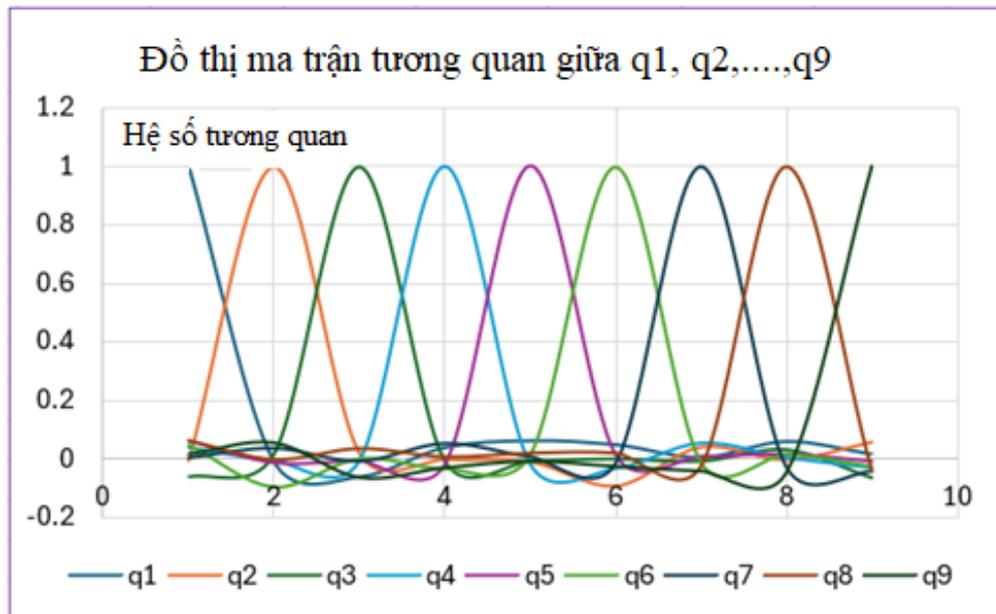
$r_{x,y}$ có giá trị từ -1 đến 1:

- $R = 1$: Hai biến tăng cùng nhau (tương quan dương hoàn toàn).
- $R = -1$: Một biến tăng thì biến kia giảm (tương quan âm hoàn toàn).
- $R = 0$: Hai biến không có mối quan hệ tuyến tính.

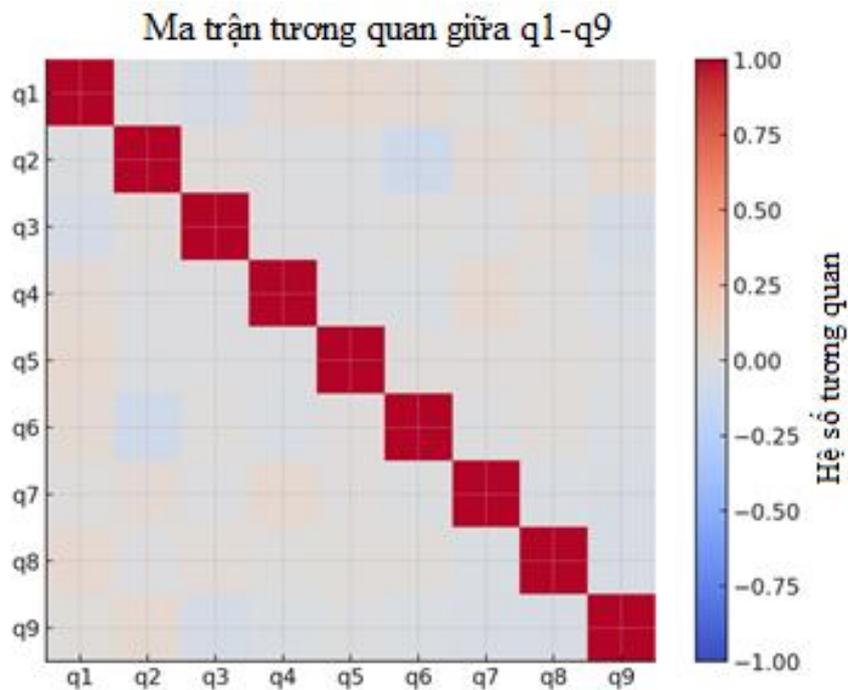
Tiến hành xây dựng ma trận tương quan giữa các tọa độ suy rộng q_1, q_2, \dots, q_9 để phân tích. Trên cơ sở Matlab đã xây dựng mô phỏng, tiếp tục lập trình phân tích. Ma trận tương quan được trình bày trên bảng 3.10 và hình 3.30

Bảng 3.10 Ma trận tương quan giữa các tọa độ suy rộng

	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5	q_6	q_7	q_8	q_9
q_1	1	-0.008	-0.0594	0.0402	0.0636	0.0502	0.0066	0.061	0.0175
q_2	-0.008	1	0.0187	-0.0042	-0.0116	-0.0948	0.0391	-0.004	0.0562
q_3	-0.0594	0.0187	1	-0.0055	-0.0053	0.0025	-0.0055	0.0336	-0.0624
q_4	0.0402	-0.0042	-0.0055	1	-0.0172	-0.031	0.0551	0.0052	-0.0293
q_5	0.0636	-0.0116	-0.0053	-0.0172	1	0.0153	0.0101	0.0178	-0.0068
q_6	0.0502	-0.0948	0.0025	-0.031	0.0153	1	-0.012	0.018	-0.0245
q_7	0.0066	0.0391	-0.0055	0.0551	0.0101	-0.012	1	-0.0266	-0.0404
q_8	0.061	-0.004	0.0336	0.0052	0.0178	0.018	-0.0266	1	-0.0446
q_9	0.0175	0.0562	-0.0624	-0.0293	-0.0068	-0.0245	-0.0404	-0.0446	1



a) Biểu diễn đồ thị ma trận tương quan



b) Biểu đồ hộp ma trận tương quan

Hình 3.30 Biểu đồ ma trận tương quan giữa q_1, q_2, \dots, q_9

Từ ma trận và biểu đồ tương quan giữa q_1, q_2, \dots, q_9 cho thấy:

- q_1 (dao động thân xe) có mức tương quan cao nhất với q_8 (ghế phụ), hệ số tương quan $r \approx 0.061$ và cũng ảnh hưởng đến q_9 (ghế số 3) với hệ số tương quan $r \approx 0.017$.

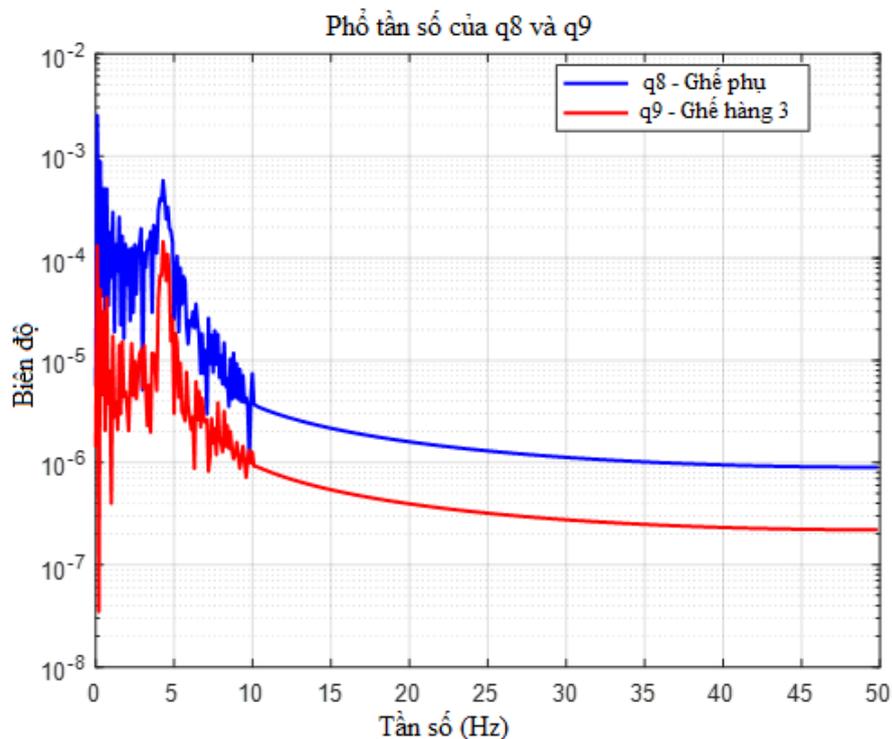
- q_2 (góc lắc dọc) có mối liên hệ khá mạnh với q_9 , hệ số tương quan $r \approx 0.056$ cho thấy dao động lắc dọc của xe ảnh hưởng đến ghế số 3.

- q_3 (góc lắc ngang) có tác động đối lập lên q_8 và q_9 , hệ số tương quan dương với q_8 , âm với q_9 , nghĩa là khi xe có dao động trước - sau, ghế phụ và ghế số 3 có phản ứng khác nhau.

Phân tích phổ tần số trên hình 3.31 của q_8 và q_9 cho thấy:

- q_8 có biên độ dao động cao hơn trong vùng tần số thấp (dưới 5 Hz), phản ánh tác động từ dao động tổng thể của xe.

- q_9 có biên độ cao hơn ở tần số trung bình (~5-10 Hz), có thể do ảnh hưởng của dao động hệ thống treo ghế hàng 3.



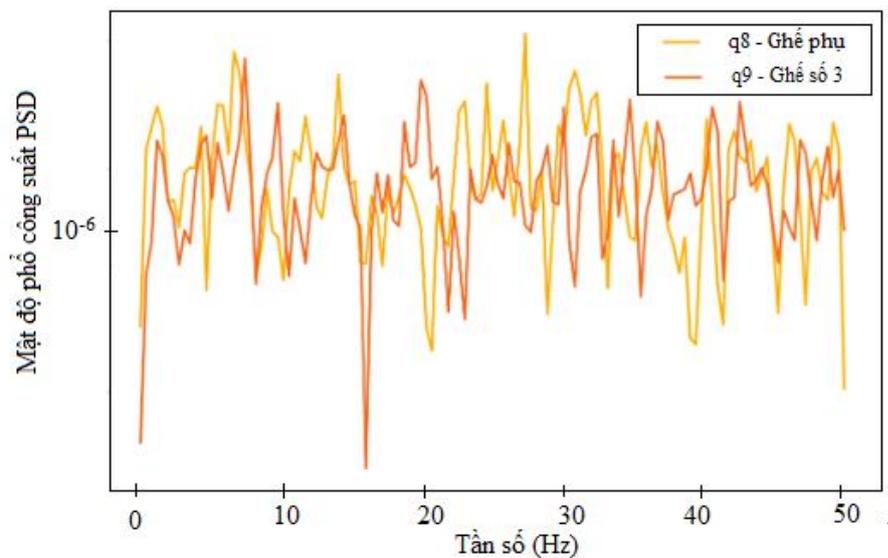
Hình 3.31 Đồ thị phổ tần số của q_8 và q_9

Phân tích đồ thị PSD của q_8 và q_9 trên hình 3.32 cho thấy:

- Tần số dao động chính của q_8 và q_9 nằm trong khoảng 1-10 Hz.
- Biên độ dao động của q_8 cao hơn ở tần số thấp (<5Hz), cho thấy ghế phụ chịu ảnh hưởng lớn từ dao động thân xe.
- Biên độ dao động của q_9 cao hơn ở tần số trung bình (5-10 Hz), có thể là do dao động hệ thống treo ghế số 3.
- Ở tần số cao (>10 Hz), biên độ giảm dần, chứng tỏ hệ thống có khả năng giảm chấn tốt ở vùng tần số cao.

Như vậy:

- Ghế phụ chịu tác động nhiều từ dao động tổng thể của xe.
- Ghế số 3 chịu ảnh hưởng nhiều từ dao động hệ thống treo ghế.
- Nếu tần số dao động trùng với tần số cộng hưởng của con người (~ 4-8 Hz), có thể gây khó chịu và mệt mỏi.



Hình 3.32 Phân tích phổ công suất của q_8 và q_9

3.6.3. Đánh giá lý thuyết ảnh hưởng của dao động xe khách đến người ngồi trên xe

- Dao động thân xe (q_1) có ảnh hưởng đáng kể đến ghế phụ và ghế số 3.
- Dao động góc lắc dọc (q_2) có ảnh hưởng lớn hơn đến ghế số 3 (q_9) hơn là ghế phụ (q_8).

- Dao động lắc ngang (q_3) gây ảnh hưởng trái ngược đến ghế phụ và ghế 3.
- Các bậc tự do khác (q_4, q_5, q_6) có ảnh hưởng thấp hơn đến q_8, q_9 .

3.7. KẾT LUẬN CHƯƠNG 3

Chương 3 đã xây dựng đầy đủ các dạng kích thích mặt đường đưa vào mô hình dao động, bao gồm mấp mô sin, xung, ngẫu nhiên và theo tiêu chuẩn ISO 8608. Trên cơ sở đó, véc-tơ lực kích thích tác dụng lên hệ 9 bậc tự do được thiết lập, bảo đảm phản ánh đúng tương tác giữa bánh xe và mặt đường trong các điều kiện vận hành khác nhau.

Kết quả khảo sát dao động cho thấy biên độ và gia tốc dao động của xe phụ thuộc vào loại mấp mô và vận tốc chuyển động. Các phân tích trong miền thời gian và miền tần số chỉ ra rằng vùng tần số thấp (1–10 Hz) có ảnh hưởng mạnh nhất đến dao động truyền lên người ngồi. Đồng thời, vị trí ghế phụ chịu tác động lớn hơn so với ghế hàng 3, đặc biệt trong trường hợp kích thích xung. Kết quả mô phỏng dao động cho thấy sự phù hợp của các giá trị dịch chuyển, vận tốc và gia tốc dao động đúng với cơ sở lý thuyết về dao động trong cơ học cũng như chuyên ngành sâu dao động ô tô.

Sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) xây dựng mô hình 3D dao động ghế – người ngồi gần đúng nhất với thực tế, dùng phần mềm chuyên dụng Ansys Workbench phiên bản có bản quyền 2024R2 để mô phỏng. Kết quả được phân tích theo chỉ số tin cậy R^2 cho thấy kết quả FEM tin cậy nên được sử dụng để so sánh với kết quả mô phỏng Simulink.

Xây dựng và phân tích ma trận tương quan đã xác định được những ảnh hưởng của dao động xe đến người ngồi trên xe, cho thấy mô hình nghiên cứu từ chương 2 và chương 3 là phù hợp.

CHƯƠNG 4 - NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM

4.1. MỤC TIÊU NGHIÊN VÀ CÁC ĐIỀU KIỆN THÍ NGHIỆM

Mục tiêu của nghiên cứu thực nghiệm:

So sánh với kết quả thí nghiệm, đánh giá độ chính xác của mô hình lý thuyết và kết luận tính đúng đắn của phương pháp nghiên cứu.

Đánh giá dao động người ngồi trên xe theo tiêu chuẩn ISO 2631.

4.2. ĐỐI TƯỢNG THÍ NGHIỆM

Đối tượng thí nghiệm là xe khách County 29 chỗ do hãng ô tô Trường Hải sản xuất lắp ráp tại Việt Nam. Xe có đặc điểm gồm 1 ghế lái, 28 ghế phụ. Các ghế được bố trí có hai dãy dọc, một dãy ngang ở hàng cuối cùng.



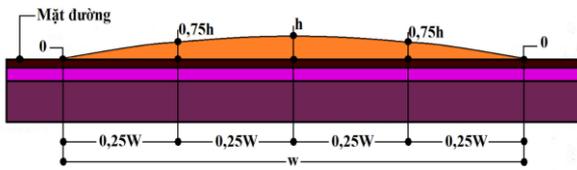
Hình 4.1 Xe khách County 29 chỗ thí nghiệm

4.3. ĐƯỜNG THÍ NGHIỆM

Thí nghiệm cho xe di chuyển trên một mặt đường là nối tiếp của 3 đoạn đường có các mấp mô như trong mô phỏng, xe chạy ở những chế độ vận tốc khác nhau $V=20$ km/h, $V= 40$ km/h, $V= 60$ km/h.

+ Đoạn đường có mấp mô ngẫu nhiên, được xác định bằng đo trực tiếp và lập bảng tính giá trị trung bình của mấp mô để xác định tính gần đúng so với tiêu chuẩn ISO 8608 loại C [18].

+ Đoạn đường có gấn mấp mô biên dạng hình sin theo tiêu chuẩn cơ sở của Tổng cục Đường bộ Việt Nam hình 4.2.

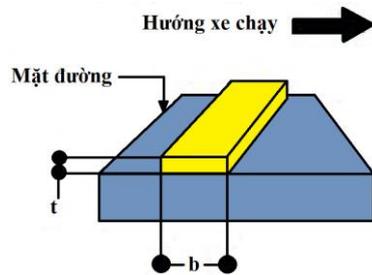


a. Mấp mô mặt đường biên dạng hình sin theo tiêu chuẩn

b. Mấp mô biên dạng hình sin chế tạo lắp đặt trên đường thử nghiệm

Hình 4.2 Mấp mô mặt đường biên dạng hình sin

+ Đoạn đường có gắn mấp mô biên dạng hình xung theo tiêu chuẩn cơ sở của Tổng cục Đường bộ Việt Nam hình 4.3.



a. Mấp mô biên dạng hình xung, $b = 200 \text{ mm}$; $t = 60 \text{ mm}$

b. Mấp mô biên dạng hình xung được lắp đặt trên đường thử nghiệm

Hình 4.3 Mấp mô mặt đường biên dạng hình xung

Vị trí đường thử nghiệm tại Tây Tựu, Hà Nội kết cấu là đường gom mới một chiều. Chiều dài đường thử 300 mét, trên đường này xe có thể chạy được tốc độ 80 km/h, hình 4.4.



Hình 4.4 Vị trí đường thử nghiệm tại Tây Tựu, Hà Nội.

4.4. THIẾT BỊ THÍ NGHIỆM

4.4.1. Bộ thu thập dữ liệu Dewesoft Sirius Mini 16 ACC và R2DB

Bộ thu thập và xử lý dữ liệu Dewesoft Sirius 16 ACC [10] là hệ thống thu thập dữ liệu được thiết kế linh hoạt, dạng mô đun, có thể mở rộng và dễ dàng trong quá trình sử dụng. Mô đun Sirius 16 ACC là mô đun chuyên dụng với 16 kênh đo gia tốc.



Hình 4.5 Bộ thu thập dữ liệu Dewesoft Sirius 16ACC và R2DB

4.4.2. Cảm biến gia tốc ba phương ICP 356A16

Cảm biến ICP 356A16 là gia tốc kế 3 trục đo độ rung đa năng đặt trực tiếp trên sàn xe tại vị trí A sát chân ghế, hình 4.6.

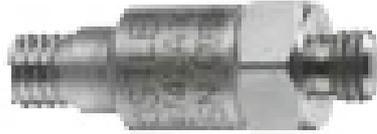


Hình 4.6 Cảm biến gia tốc 3 trục ICP 356A16

Cảm biến đo ICP 356A16 cho phép lấy dữ liệu chính xác mà không cần lặp lại phép đo. Điều này giúp loại bỏ sự khác biệt giữa các thử nghiệm và do đó tiết kiệm được thời gian và cung cấp kết quả tin cậy [7].

4.4.3. Cảm biến gia tốc Vibra-Metrics model 1001

Cảm biến Vibra-Metrics model 1001 là gia tốc kế 1 trục đo độ rung theo phương thẳng đứng đặt trực tiếp trên ba vị trí đầu, ngực, đỉnh đầu trên cơ thể người ngồi.



Hình 4.7 Cảm biến gia tốc Vibra-Metrics model 1001

4.4.4. Cảm biến vận tốc DS-IMU1

Cảm biến DS-IMU1 là cảm biến đo vận tốc của ô tô theo hệ thống định vị toàn cầu GPS, có tích hợp các cảm biến GYRO, gia tốc để xác định góc lắc và gia tốc dao động của ô tô.



Hình 4.8 Bộ cảm biến vận tốc DS-IMU1

4.4.5. Cảm biến chuyển dịch HF-750

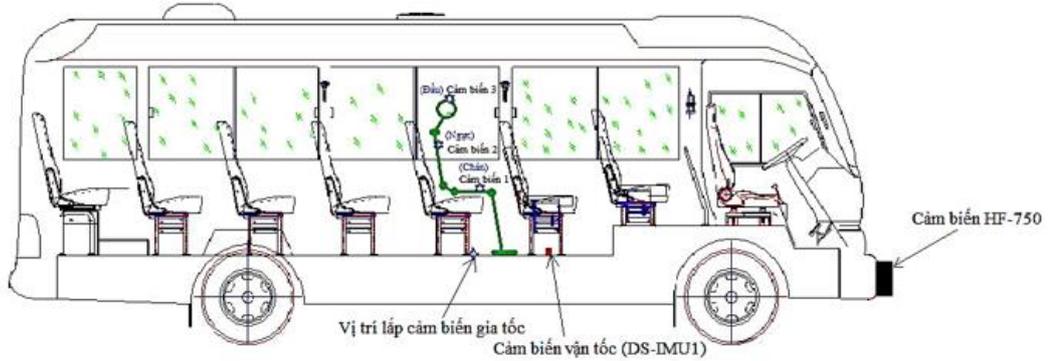
Cảm biến vị trí HF-750 hoạt động dựa trên nguyên lý quang học dùng để xác định vị trí gắn cảm biến so với vật phản chiếu ánh sáng. Là cảm biến của Hãng Kistler dùng để đo chuyển dịch trong phạm vi 150÷900 mm.



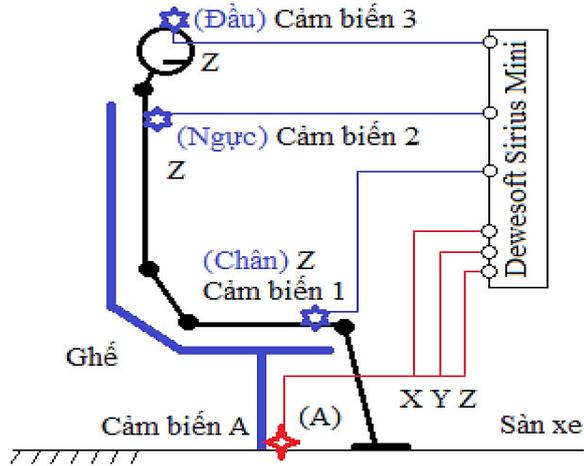
Hình 4.9 Bộ cảm biến đo chuyển dịch HF-750

4.5. PHƯƠNG ÁN BỐ TRÍ CẢM BIẾN TRÊN XE VÀ SƠ ĐỒ CẢM BIẾN

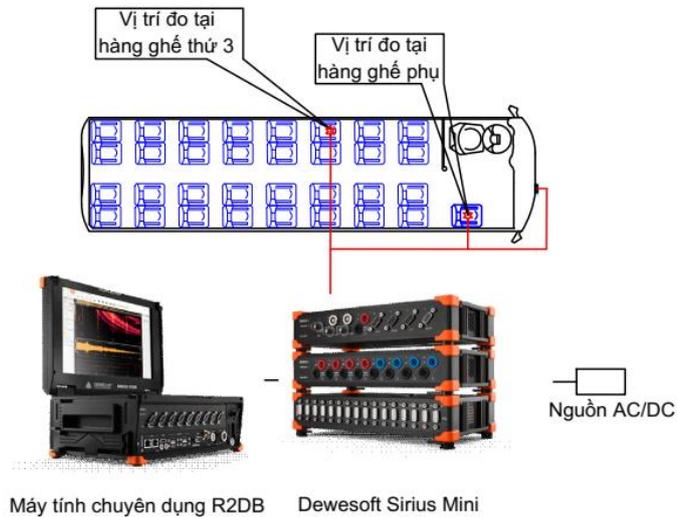
4.5.1. Phương án bố trí lắp đặt cảm biến



Hình 4.10 Sơ đồ lắp đặt các cảm biến trên xe và người

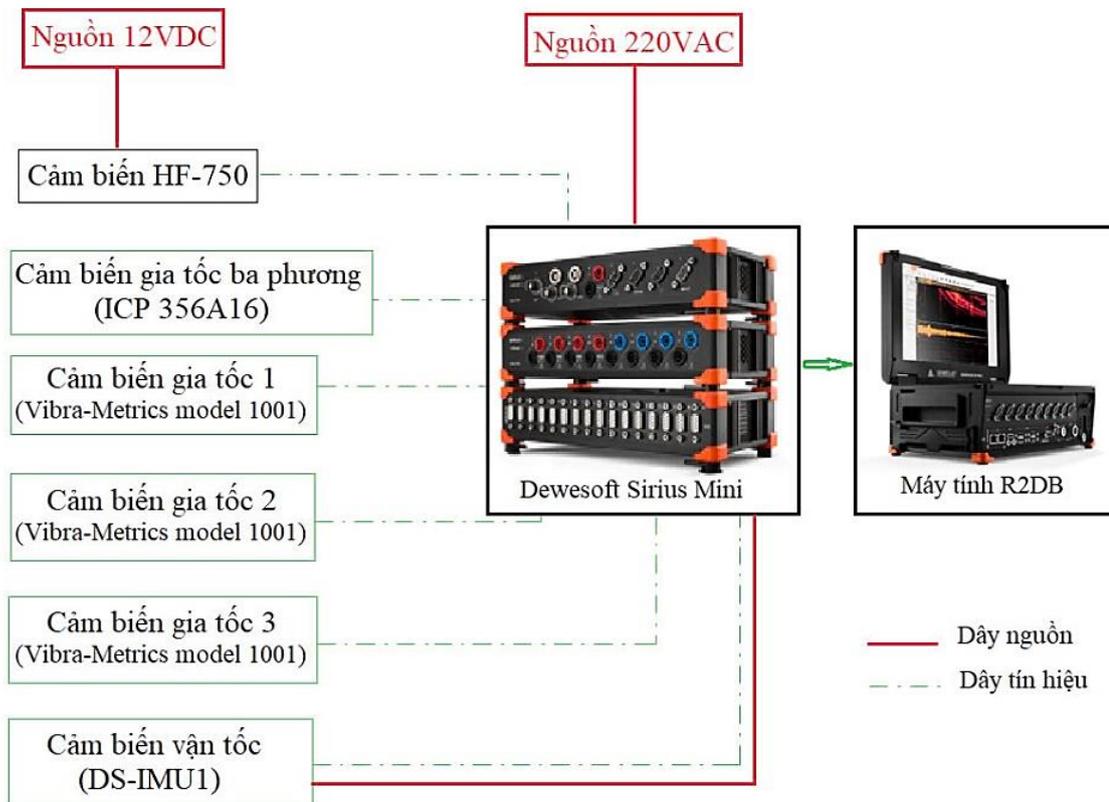


Hình 4.11 Sơ đồ vị trí đo trên người



Hình 4.12 Sơ đồ vị trí đo trên ghế ngồi

4.5.2. Sơ đồ đấu nối cảm biến



Hình 4.13 Sơ đồ đấu nối các cảm biến

4.6. CÁC CHẾ ĐỘ THỬ NGHIỆM, LẮP ĐẶT CẢM BIẾN LÊN XE VÀ TIẾN HÀNH THÍ NGHIỆM

Bảng 4.1 Các chế độ thử nghiệm

Các chế độ thử nghiệm	V = 20 (km/h)	V = 40 (km/h)	V = 60 (km/h)
Ký hiệu file	V20	V40	V60
Dao động chân ghế	A_20_XYZ	A_40_XYZ	A_60_XYZ
Dao động chân người	CB1_20_Z	CB1_40_Z	CB1_60_Z
Dao động ngực người	CB2_20_Z	CB2_40_Z	CB2_60_Z
Dao động đầu người	CB3_20_Z	CB3_40_Z	CB3_60_Z

Xe thử nghiệm chạy trên mặt đường có biên dạng ngẫu nhiên, mấp mô hình sin và hình xung. Mỗi một vận tốc tại chế độ thử nghiệm được tiến hành đo ghi trong ba lần được lưu lại trên các file và được đặt tên theo quy ước: A_20_XYZ đến A_60_XYZ. Trong đó A: Cảm biến gia tốc 3 phương, V20: Vận tốc thử nghiệm 20 km/h, XYZ: Phương X, phương Y, phương Z của cảm biến gia tốc. CB1_20_Z đến CB1_60_Z; CB2_20_Z đến CB2_60_Z; CB3_20_Z đến CB3_60_Z trong đó: CB1, CB2, CB3 – Cảm biến gia tốc một phương, V20: Vận tốc thử nghiệm 20 km/h, Z: Phương Z của cảm biến gia tốc một phương.

Do thời gian 10s trong mô phỏng là quá trình khảo sát xe gặp mấp mô trước khi gặp, tại thời điểm gặp và sau đó dao động tắt dần có ảnh hưởng của giảm chấn. Xe vận hành thực tế trong thí nghiệm 600s là tổng thời gian xe chạy thí nghiệm trên tổng quãng đường thí nghiệm để tạo trạng thái ổn định của xe, lái xe, kỹ thuật viên và các thiết bị đo.



Hình 4.14 Lắp đặt cảm biến HF - 750



Hình 4.15 Lắp đặt cảm biến đo vận tốc DS-IMU1



Hình 4.16 Lắp đặt cảm biến đo gia tốc ba phương ICP 356A16



Hình 4.17 Lắp đặt cảm biến đo gia tốc một phương Vibra-Metrics model 1001 tại 3 vị trí đỉnh đầu, ngực, đùi



Hình 4.18 Lắp đặt bộ thu thập dữ liệu Dewesoft Sirius 16ACC và R2DB



Hình 4.19 Xe thử nghiệm chạy qua mấp mô đơn hình sin



Hình 4.20 Xe thử nghiệm chạy qua mấp mô đơn hình xung

4.7. THU THẬP VÀ XỬ LÝ SỐ LIỆU THỰC NGHIỆM

4.7.1. Thu thập dữ liệu

Bộ thu thập và xử lý dữ liệu Dewesoft Sirius 16 ACC có cấu hình được sử dụng để thực hiện các phép đo độ dao động trên xe thí nghiệm bao gồm các máy phân tích FFT và bộ thu thập dữ liệu được sử dụng để xem dạng sóng, phân tích phổ và đánh giá dạng sóng thời gian.

Dữ liệu thí nghiệm được thu thập và xử lý trực tiếp trên máy đo với phần mềm chính hãng trang bị theo máy. Dạng sóng thời gian từ khối dữ liệu số hóa là số liệu thí nghiệm. Các bước xử lý số liệu thí nghiệm đo dao động ô tô trên máy đo, gồm:

Phân tích dữ liệu: Sử dụng các công cụ phân tích dữ liệu để xác định các đặc điểm chính của dao động, như tần số, biên độ và thời gian.

Phân tích thời gian: Sử dụng phân tích thời gian để xác định các mô-đun dao động và các thành phần dao động chính.

Phân tích tần số: Sử dụng phân tích tần số để chuyển đổi dữ liệu thời gian thành tần số để phân tích các thành phần dao động.

Phân tích sai lệch: Sử dụng các phương pháp phân tích sai lệch để xác định và loại bỏ các yếu tố không mong muốn trong dữ liệu.

Phân tích đa chiều: Do có nhiều biến số đo, sử dụng phân tích đa chiều để xác định các mối quan hệ giữa các biến số.

Các phần mềm có thể sử dụng phân tích dữ liệu trong thí nghiệm này gồm: Matlab hoặc phần mềm chuyên dụng DewesoftX đi kèm theo máy đo.

Phần mềm: DewesoftX, Version: 2020.1 (64-bit), Build: Release, Product licence: DEMO, System: Windows 10 Build 22631 (64-bit Edition). Ở mô đun Analyse của DewesoftX, dữ liệu đã ghi sẽ được hiển thị, không phụ thuộc vào loại thiết bị đã chọn, có thể trên máy tính thông thường cũng giống như trên máy đo, khi đó có thể xem lại toàn bộ phép đo với khả năng tùy chỉnh chọn kênh và tùy chọn điều chỉnh vùng phóng to bằng bánh xe chuột máy tính nên độ tin cậy của kết quả cao.

Kết quả thu thập số liệu thí nghiệm trong phần mềm DewesoftX được mô tả một trường hợp trên giao diện máy tính trên hình 4.21.



Hình 4.21 Giao diện kết quả thí nghiệm theo thời gian thực

4.7.2. Xử lý các lỗi trong quá trình đo và xử lý dữ liệu

Các lỗi chính trong quá trình đo và xử lý dữ liệu dao động ô tô gồm:

- 1) Không lắp đặt đúng vị trí và hướng đo trên các trục X,Y,Z của các cảm biến gia tốc dẫn đến dữ liệu không chính xác
- 2) Sử dụng cảm biến không phù hợp với mức dao động và tần số yêu cầu
- 3) Thiết lập phạm vi tần số tối đa $f(\max)$ và tỷ lệ lỗi (LOR) không đúng, không phù hợp với quá trình đo và phân tích dữ liệu
- 4) Dữ liệu bị ảnh hưởng bởi nhiễu nền do sử dụng các phương pháp lọc nền không đồng đều trước khi phân tích dữ liệu
- 5) Có các yếu tố không mong muốn do không xử lý phân tích sai lệch để xác định và loại bỏ trước khi tiến hành đo.

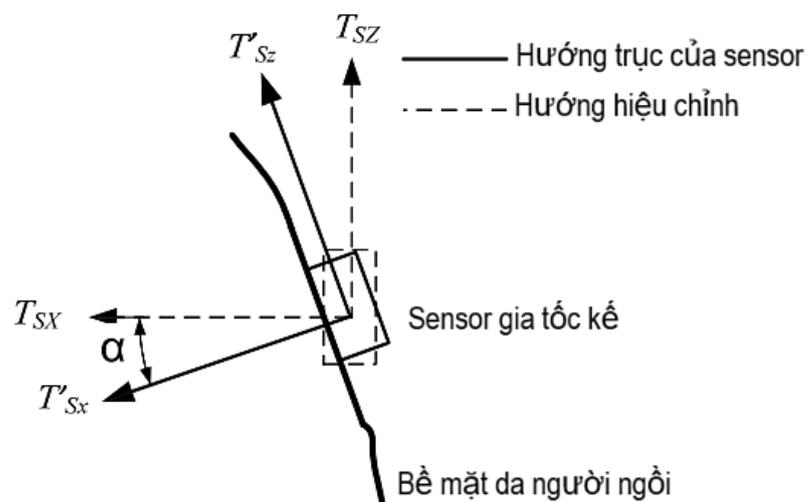
Các lỗi 2,3,4,5 được đảm bảo với thiết bị đo chính hãng thế hệ mới, phần mềm hiện đại. Chuyên gia đo tại Học viện Kỹ thuật Quân sự, Hà Nội là các Kỹ thuật viên chuyên nghiệp có kỹ năng, tay nghề và nhiều kinh nghiệm trong kỹ thuật đo lường và xử lý số liệu thí nghiệm.

Lỗi 1 cần được hiệu chỉnh phù hợp. Cơ sở hiệu chỉnh được thực hiện như sau:

Do độ cong của bề mặt người tại vị trí đo: Đầu, ngực và đùi là cho các cảm biến gia tốc gắn trên bề mặt da sẽ tạo ra độ lệch hướng so với hướng trục cảm biến và trục sinh học của người. Theo thống kê nguyên nhân này có thể gây ra lỗi đo lường dẫn đến kết quả sai số tới 20%. Để sửa lỗi này cần đặt cảm biến đo theo hướng hiệu chỉnh lệch thêm một góc α so với hệ trục tâm cơ sở là hướng trục của cảm biến với khả năng truyền gia tốc ở tần số thấp 0,5 Hz tính theo công thức (4.1)

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{T'_{Sx}(j\omega)}{T'_{Sz}(j\omega)} \right]; \quad \omega = 2\pi(0.5) \text{ rad/s} \quad (4.1)$$

Góc hiệu chỉnh của cảm biến được theo dõi trực quan và hiệu chỉnh trên màn hình và phần mềm máy đo trước mỗi lần thí nghiệm được mô tả trên hình 4.22.



Hình 4.22 Góc hiệu chỉnh cảm biến đo dao động

Kết quả tính toán góc hiệu chỉnh gắn cảm biến đo ba vị trí trên người ngồi sao cho trục cảm biến theo hướng thẳng đứng Tsz được nêu trong bảng 4.2:

Bảng 4.2 Góc hiệu chỉnh gắn cảm biến đo dao động trên người

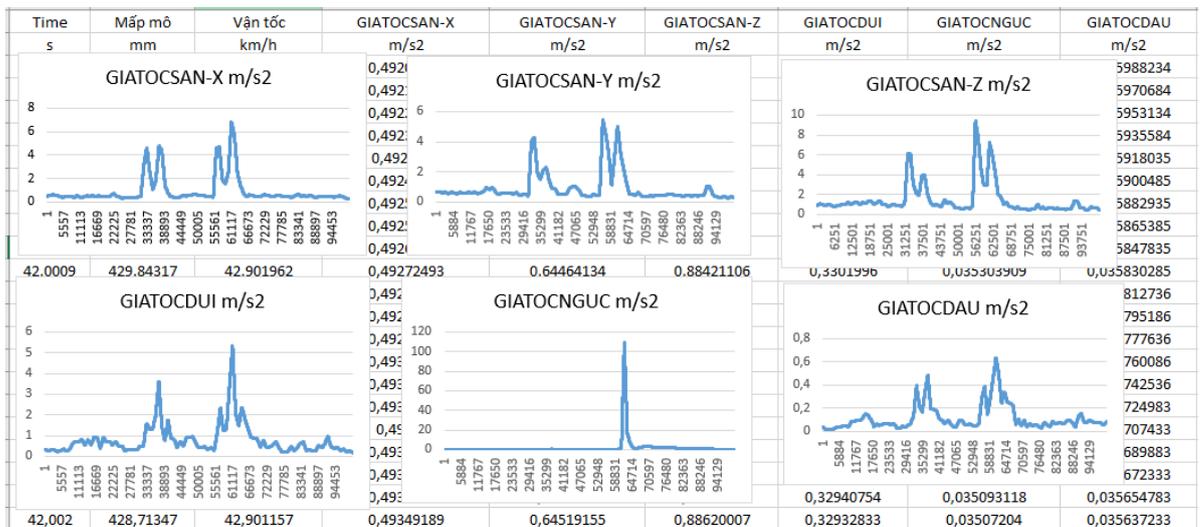
Vị trí	Trên đầu	Trên ngực	Trên đùi
Góc nghiêng trục cảm biến sẽ gắn trên cơ thể người (độ)	85	100	85
Góc hiệu chỉnh (độ)	+5	-10	+5

4.7.3. Phân tích kết quả thí nghiệm

4.7.3.1. Xây dựng tệp dữ liệu kết quả

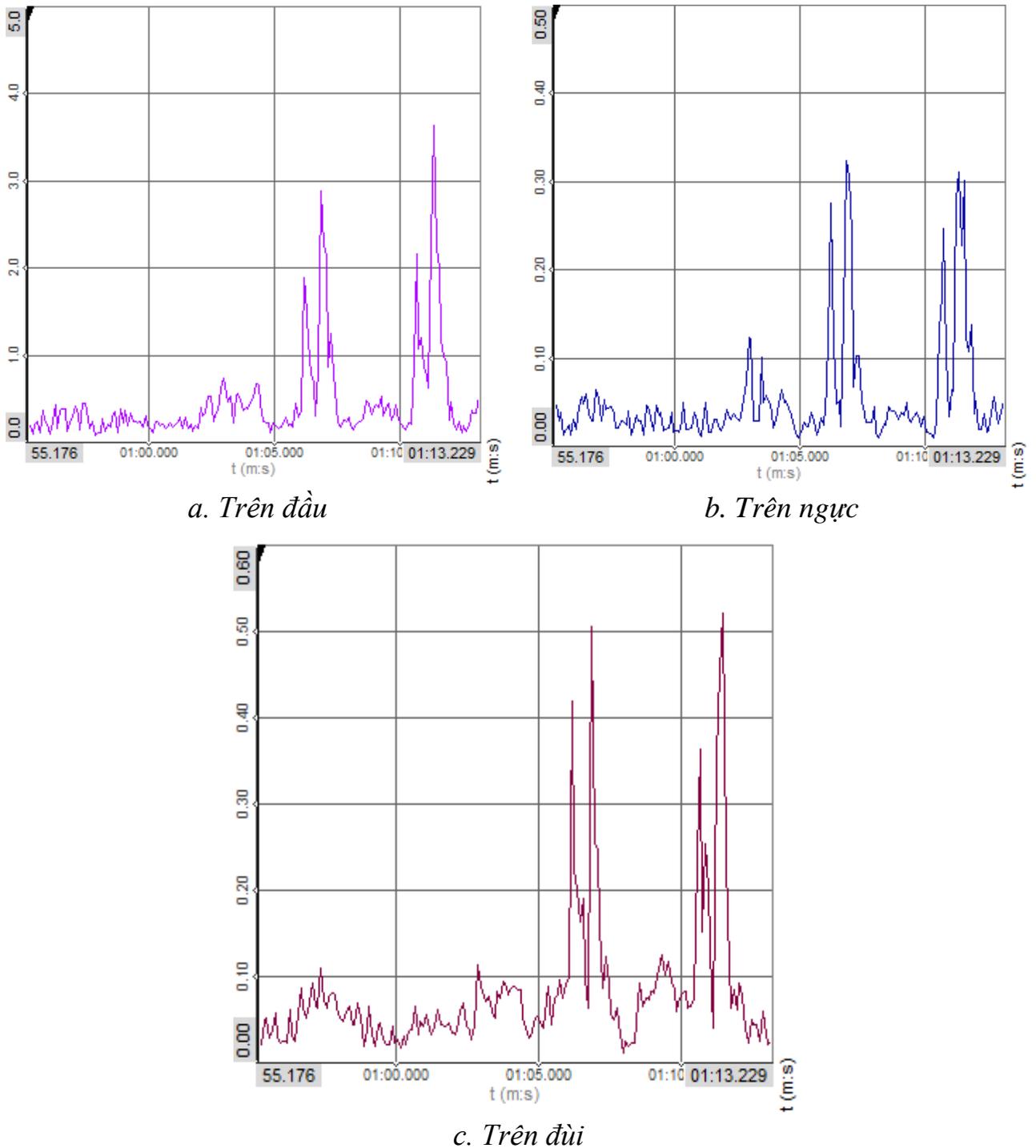
Các kết quả thí nghiệm nhận được các file có phần mở rộng .dxd của DewesoftX Data File. Nhìn trong file Excel, dữ liệu dạng bảng số của mỗi kết quả trong một lần đo có dung lượng rất lớn với gần 240.000 dòng làm cho thời gian so sánh kết quả sẽ tăng lên rất lớn.

Các dữ liệu đo được của mỗi kết quả trong một lần đo gồm: thời gian (s); gia tốc (m/s²) của ghế, gia tốc sàn xe theo 3 phương X,Y,Z và dao động theo phương thẳng đứng của các bộ phận cơ thể người gồm: đầu, ngực và đùi; mấp mô mặt đường (mm); vận tốc xe chạy thí nghiệm (km/h). Bảng dạng kết quả thí nghiệm nêu trên hình 4.23 có 238674 dòng dữ liệu đo.



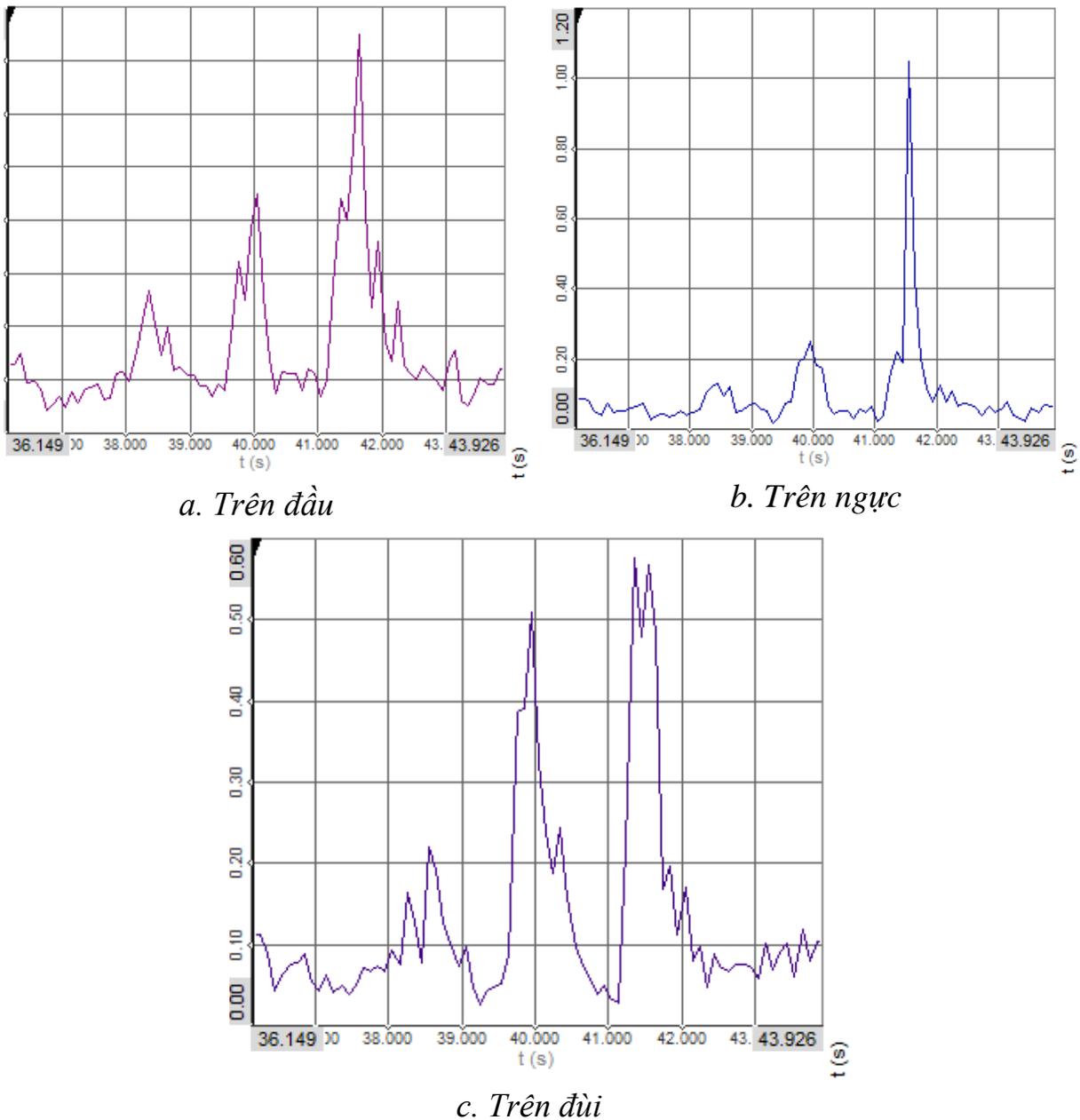
Hình 4.23 Bảng dạng kết quả thí nghiệm

Phân tích dữ liệu để nhận các kết quả phục vụ đánh giá theo mục tiêu nghiên cứu. Một dạng kết quả thí nghiệm dạng gia tốc RMS trên đầu, ngực và đùi người ngồi trên ghế được trình bày trên hình 4.24.a,b,c.



Hình 4.24 Đồ thị gia tốc RMS trên các bộ phận cơ thể theo phương Z người ngồi hàng ghế phụ, kích thích sin, $V = 40 \text{ km/h}$

Khi xe chuyển động với vận tốc 40 km/h trên mặt đường ngẫu nhiên dao động đều, ngược, đầu khoảng 0.3 m/s^2 , không gây khó chịu cho người ngồi. Khi đi qua mấp mấp mô đơn hình sin, xung: Ta có thể thấy dao động đều lớn nhất lần lượt 3.5 m/s^2 , 5.1 m/s^2 gây cảm giác cực kỳ khó chịu cho bộ phận đùi, dao động ngực 0.51 m/s^2 , 0.62 m/s^2 gây hơi khó chịu cho ngực, dao động đầu 0.5 m/s^2 , 0.61 m/s^2 gây hơi khó chịu cho đầu.



Hình 4.25 Đồ thị gia tốc RMS trên các bộ phận cơ thể theo phương Z người ngồi hàng ghế phụ, kích thích sin, $V = 60 \text{ km/h}$.

Khi xe chuyển động với vận tốc 60 km/h trên mặt đường ngẫu nhiên dao động đều, ngực, đầu khoảng 0.31 m/s^2 , không gây khó chịu cho người ngồi. Khi đi qua mấp mấp mô đơn hình sin, xung: Ta có thể thấy dao động đều lớn nhất lần lượt 2.3 m/s^2 , 3.8 m/s^2 gây cảm giác cực kỳ khó chịu cho bộ phận đầu, dao động ngực khoảng $1,02 \text{ m/s}^2$, gây khó chịu cho ngực, dao động đầu 0.5 m/s^2 , 0.58 m/s^2 gây hơi khó chịu cho đầu.

Kết quả thí nghiệm cho đầy đủ kết quả giá trị gia tốc RMS các vị trí khảo sát dao động hai vị trí cơ thể người ngồi tại các vị trí ghế khác như ghế phụ và ghế hàng 3. Dao động chủ yếu tập trung ở vùng tần số thấp cho thấy kết quả thí nghiệm phù hợp với lý thuyết hình 4.24 và hình 4.25.

Các kết quả được trình bày ở hai dạng dữ liệu: Dạng mô tả lại quá trình thí nghiệm với các giá trị chạy theo thời gian thực, các file kết quả lưu theo file có phần mở rộng.dxd; Dạng bảng số và đồ thị trong file Excel giúp cho người sử dụng đọc trực tiếp các giá trị khi không sẵn có phần mềm DewesoftX. Hai dạng dữ liệu kết của được nêu trong Phụ lục 4 của luận án.

4.7.3.2. Đánh giá độ hội tụ và lọc nhiễu của kết quả thí nghiệm

a) Độ hội tụ

Mức ổn định của các thông số đo theo thời gian trong thí nghiệm được đánh giá thông qua độ hội tụ về giá trị trung bình. Các phương pháp chính để đánh giá độ hội tụ trong thí nghiệm gồm:

1. Phân tích thống kê cơ bản

Chỉ tiêu CV được tính bởi hệ số biến thiên

$$CV = \frac{\sigma}{\mu} \quad (4.2)$$

- Nếu $CV < 10\%$ → Hội tụ tốt.
- Nếu $CV > 20\%$ → Hội tụ kém.

μ : Giá trị trung tâm của dữ liệu.

σ : Độ lệch chuẩn, đánh giá mức độ biến thiên của dữ liệu.

2. Phân tích hình ảnh

- Biểu đồ đường: Nếu tín hiệu dao động mạnh, có thể cần thời gian để đạt hội tụ.
- Boxplot: Nếu boxplot hẹp (phân bố nhỏ), dữ liệu có độ hội tụ cao.

b) Lọc nhiễu

Trong bất kỳ thí nghiệm nào, dữ liệu đo thường bị ảnh hưởng bởi nhiễu tần số cao, nguyên nhân do:

- Môi trường bên ngoài (dao động, nhiệt độ, độ ẩm...).
- Cảm biến đo (nhiều điện tử).

Sai số ngẫu nhiên.

Lọc nhiễu nhằm cải thiện chất lượng tín hiệu đo, giảm sai số và đánh giá hội tụ chính xác hơn.

Có nhiều phương pháp lọc nhiễu khác nhau. Trong thí nghiệm này, NCS sử dụng lọc thông thấp.

+ Bộ lọc thông thấp Butterworth

Đặc điểm của bộ lọc thông thấp Butterworth

- Duy trì hình dạng của tín hiệu (không gây biến dạng dữ liệu).
- Là bộ lọc bậc 4 (bộ lọc bậc cao hơn sẽ làm mượt tín hiệu mạnh hơn).
- Phương trình hàm truyền sử dụng trong bộ lọc thông thấp

$$H(s) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^{2n}}} \quad (4.3)$$

- f_c : là tần số cắt.
 - n : là bậc của bộ lọc.
- + Lọc trung bình trượt

Lấy trung bình các điểm lân cận theo công thức tính các điểm lân cận:

$$y_i = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x_i - k \quad (4.4)$$

- N là kích thước của sổ trượt.

Bộ lọc này có ưu nhược điểm:

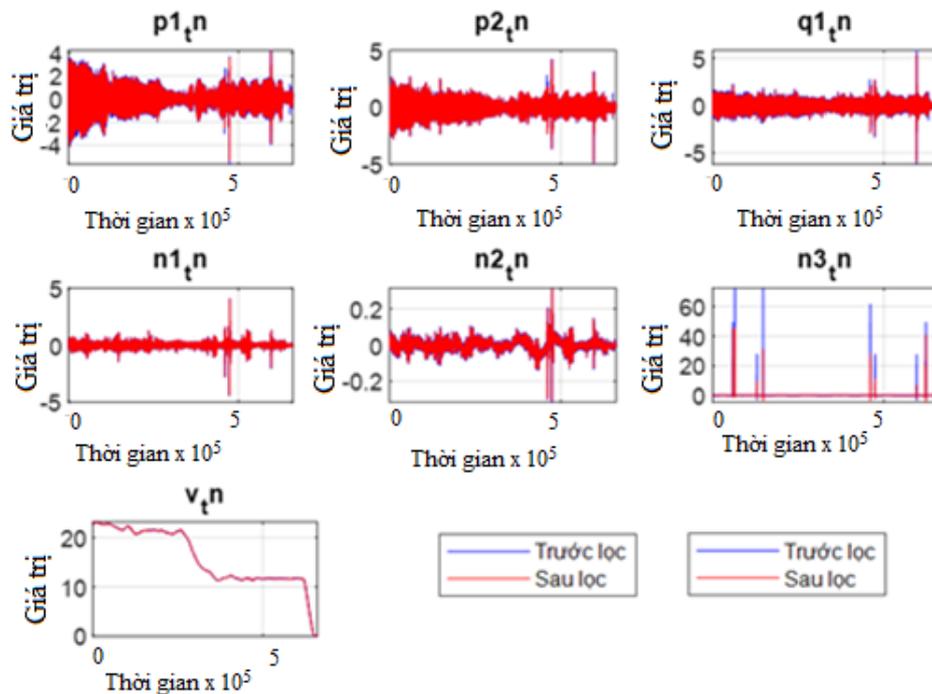
- Làm mượt dữ liệu nhưng có thể gây trễ tín hiệu.
- Ứng dụng tốt cho dữ liệu có nhiễu ngẫu nhiên nhưng không phải tín hiệu dao động mạnh.

Trong phân tích thí nghiệm này NCS sử dụng bộ lọc Butterworth.

c) Phân tích đồ thị

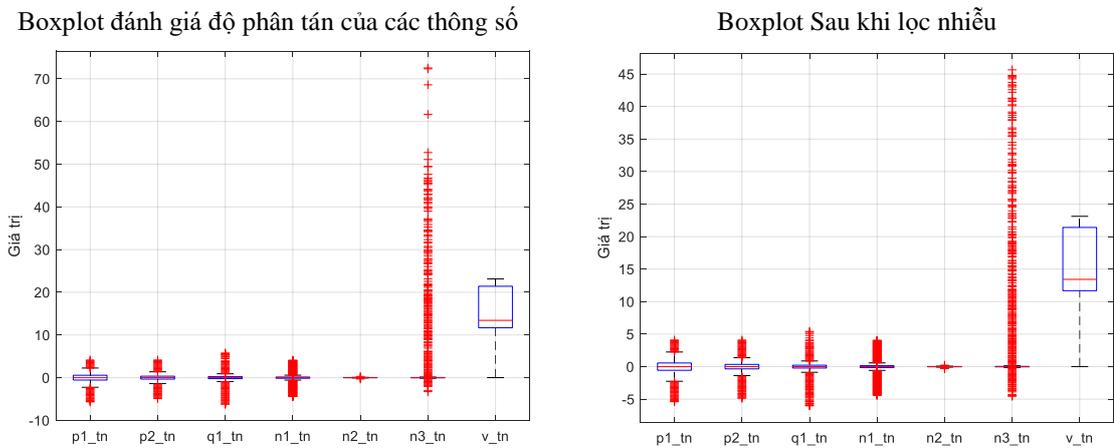
1. Biểu đồ đường - Xu hướng biến thiên theo thời gian

Do sử dụng lọc nhiễu nên tín hiệu được cải thiện tốt hơn, các nhiễu đã được lọc bỏ còn lại tín hiệu thực được sử dụng. Hệ số biến thiên nhỏ cho thấy dữ liệu ít phân tán và có độ hội tụ cao hình 4.26.



Hình 4.26 So sánh dữ liệu trước và sau khi lọc nhiễu

2. Biểu đồ hộp

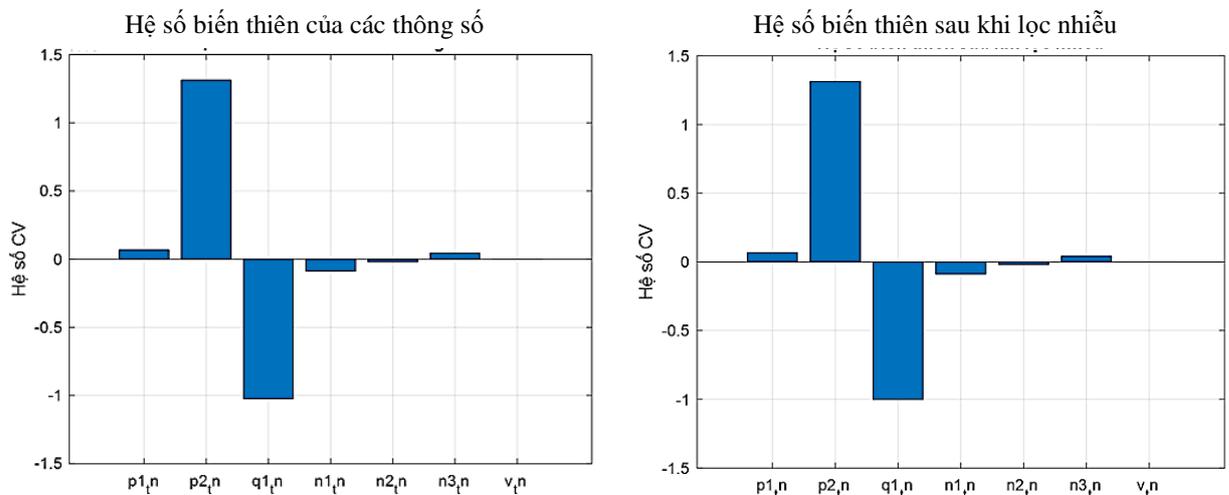


Hình 4.27 Biểu đồ hộp đánh giá độ phân tán của tín hiệu

Trên biểu đồ hộp cho thấy các dữ liệu đều có độ hội tụ cao, ít biến động ngoại trừ dữ liệu dao động đầu người ngồi. Điều này có thể do cộng hưởng dao động từ cơ thể người truyền lên đầu. Như vậy n_{3_tn} cần điều chỉnh điều kiện thí nghiệm hoặc loại bỏ nhiễu của cảm biến đo trên đầu.

3. Biểu đồ hệ số biến thiên

Hệ số biến thiên CV đánh giá mức độ hội tụ hình 4.28. Các cột có CV nhỏ nghĩa là dữ liệu ít phân tán, như vậy các tín hiệu đo trên cơ thể có xu hướng hội tụ tốt do các cột có CV nhỏ.



Hình 4.28 Đồ thị biến thiên dữ liệu thí nghiệm

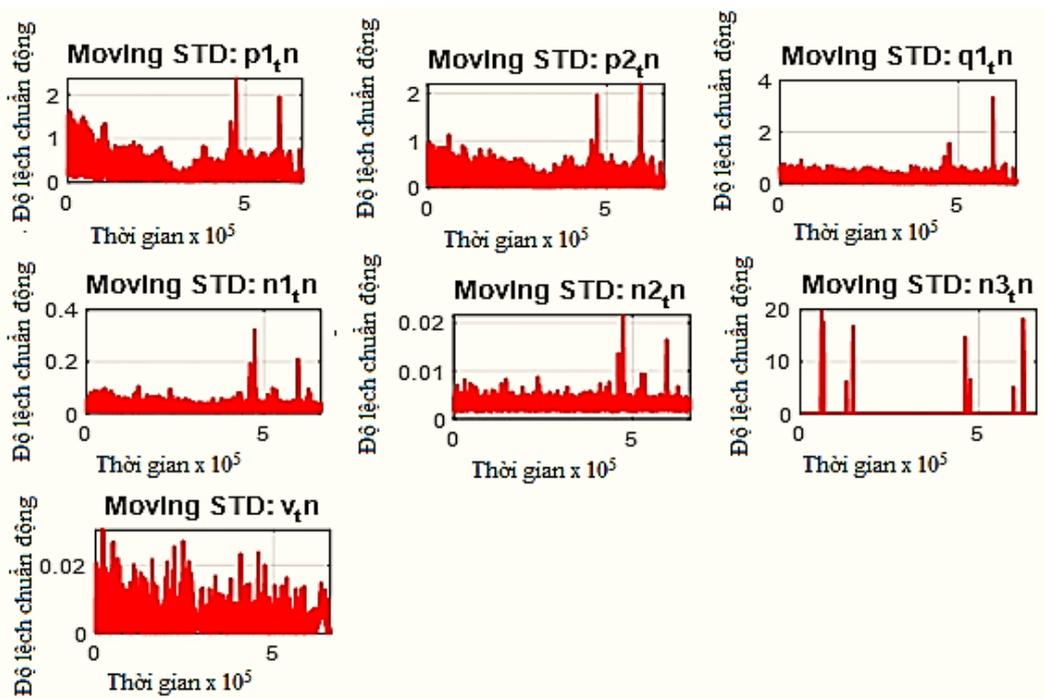
Theo chỉ tiêu đánh giá:

- $CV < 10\% \rightarrow$ Hội tụ rất tốt.
- $10\% \leq CV \leq 20\% \rightarrow$ Chấp nhận được.
- $CV > 20\% \rightarrow$ Hội tụ kém, cần điều chỉnh.

Nhận xét từ đồ thị ta thấy tất cả các thông số đều có giá trị CV nhỏ hơn 10%, chứng tỏ kết quả đo đối với các thông số đều có độ hội tụ tốt.

4. Biểu đồ độ lệch chuẩn động

Đánh giá trên biểu đồ độ lệch chuẩn động cho thấy vẫn dao động mạnh nên để dữ liệu hội tụ hơn cần thêm nhiều mẫu đo hơn để có kết quả tăng thêm độ chính xác hình 4.29.



Hình 4.29 Biểu đồ lệch chuẩn động của các biến thí nghiệm

4.7.3.3. Phân tích kết quả thí nghiệm

a) Phân tích tương quan giữa các biến trong thí nghiệm

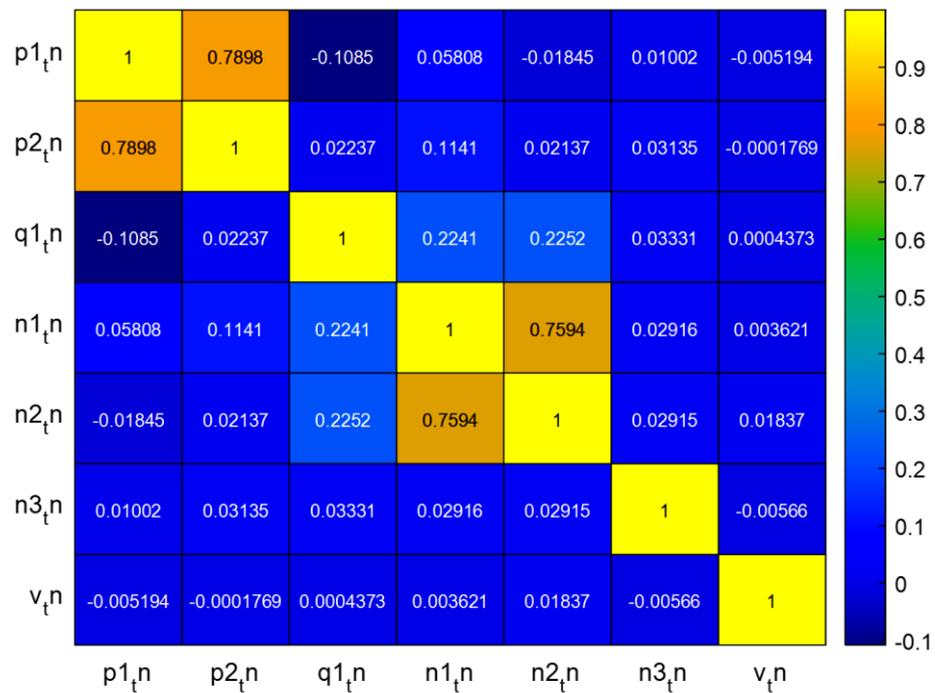
Xây dựng ma trận tương quan giữa các biến trong thí nghiệm gồm: p_{1_m} : Gia tốc sàn xe theo phương x; p_{2_m} : Gia tốc sàn xe theo phương y; q_{1_m} : Gia tốc sàn xe theo phương z; n_{1_m} : Gia tốc trên đùi; n_{2_m} : Gia tốc trên ngực; n_{3_m} : Gia

tốc trên đầu; v_{tn} : Vận tốc xe chạy thí nghiệm ta nhận được ma trận tương quan giá các yếu tố trình bày trong bảng 4.3.

Bảng 4.3 Ma trận tương quan giữa các yếu tố

	p_{1_tn}	p_{2_tn}	q_{1_tn}	n_{1_tn}	n_{2_tn}	n_{3_tn}	v_{tn}
p_{1_tn}	1	0.7898	-0.1085	0.058077	-0.18445	0.010023	-0.0052
p_{2_tn}	0.7898	1	0.22367	0.11048	0.021372	0.031353	-0.00018
q_{1_tn}	-0.10845	0.022367	1	0.22414	0.22516	0.033307	0.000437
n_{1_tn}	0.058077	0.11408	0.22414	1	0.75944	0.029163	0.003621
n_{2_tn}	-0.01845	0.021371	0.22516	0.75944	1	0.028146	0.018371
n_{3_tn}	0.010023	0.031353	0.033307	0.029163	0.029146	1	-0.00566
v_{tn}	-0.00519	-0.00018	0.000437	0.00362	0.018371	-0.00566	1

Biểu diễn trên bản đồ ô vuông thấy các giá trị tương quan gần 1 hoặc -1, là có quan hệ mạnh giữa các biến hình 4.30.



Hình 4.30 Bản đồ phân tích tương quan giữa các biến thí nghiệm

b) *Đánh giá mức độ ảnh hưởng của các yếu tố trong thí nghiệm*

Để đánh giá ảnh hưởng của vận tốc xe chạy thí nghiệm và dao động thẳng đứng đến dao động người ngồi trên ghế ta sử dụng phương pháp hồi quy để xác định ảnh hưởng của từng yếu tố theo phương trình (4.5)

$$\begin{aligned} n_{1_tn} &= \beta_0 + \beta_1 \cdot q_{1_tn} + \beta_2 \cdot v_{tn} + \epsilon \\ n_{2_tn} &= \beta_0 + \beta_1 \cdot q_{1_tn} + \beta_2 \cdot v_{tn} + \epsilon \\ n_{3_tn} &= \beta_0 + \beta_1 \cdot q_{1_tn} + \beta_2 \cdot v_{tn} + \epsilon \end{aligned} \quad (4.5)$$

Trong đó:

- β_0 : là hệ số chặn
- β_1 : là hệ số hồi quy của q_{1_tn}
- β_2 : là hệ số hồi quy của v_{tn}
- ϵ : là sai số của mô hình

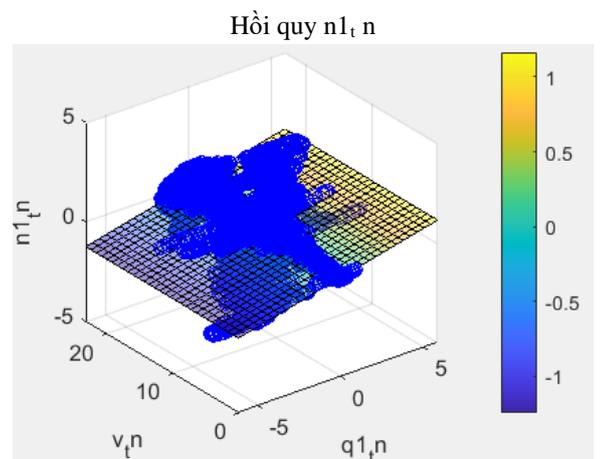
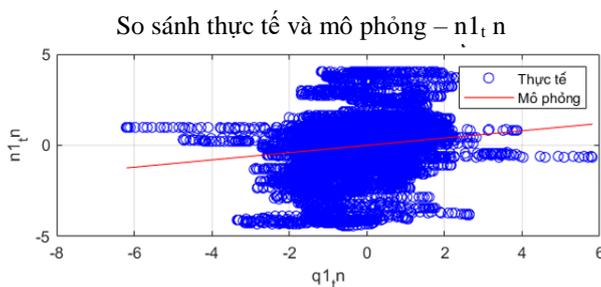
Lập trình trong Matlab của dữ liệu thí nghiệm để tính toán các hệ số hồi quy, thay các giá trị của các hệ số hồi quy và giải các phương trình hồi quy, các kết quả nhận được hệ số hồi quy:

Hệ số hồi quy cho n_{1_tn} : hệ số chặn $\beta_0 = -0.38$, $q_{1_tn} = 0.2000$, $v_{tn} = 0.02$

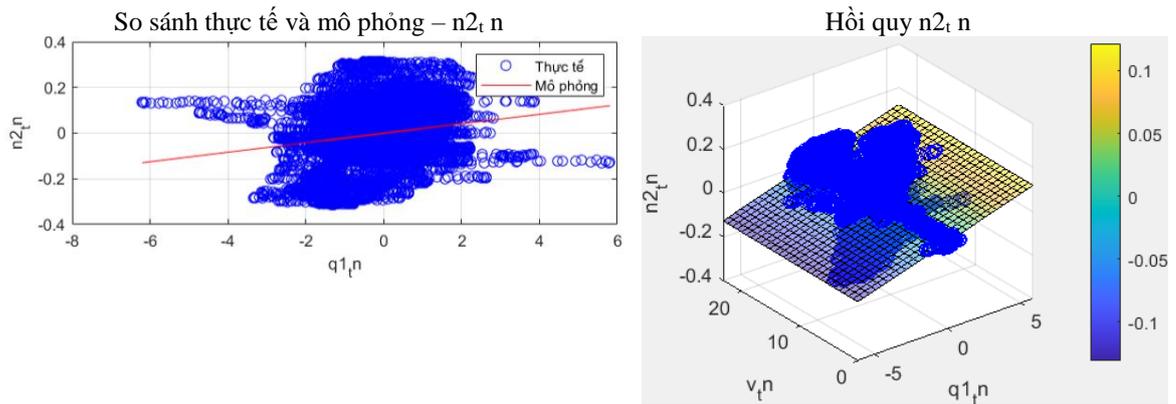
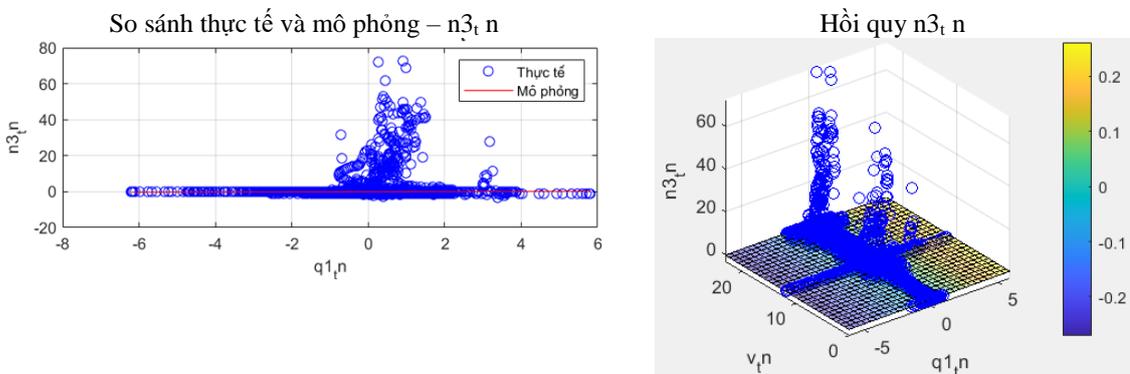
Hệ số hồi quy cho n_{2_tn} : hệ số chặn $\beta_0 = -0.20$, $q_{1_tn} = 0.0208$, $v_{tn} = 0.01$

Hệ số hồi quy cho n_{3_tn} : hệ số chặn $\beta_0 = 0.91$, $q_{1_tn} = 0.0433$, $v_{tn} = -0.05$

Kết quả hồi quy giữa mô phỏng và thí nghiệm được thể hiện trên các đồ thị hình 4.31.a,b,c.



a) Hồi quy giữa n_1 với q_1

b) Hồi quy giữa n_2 với q_1 c) Hồi quy giữa n_1 với q_1

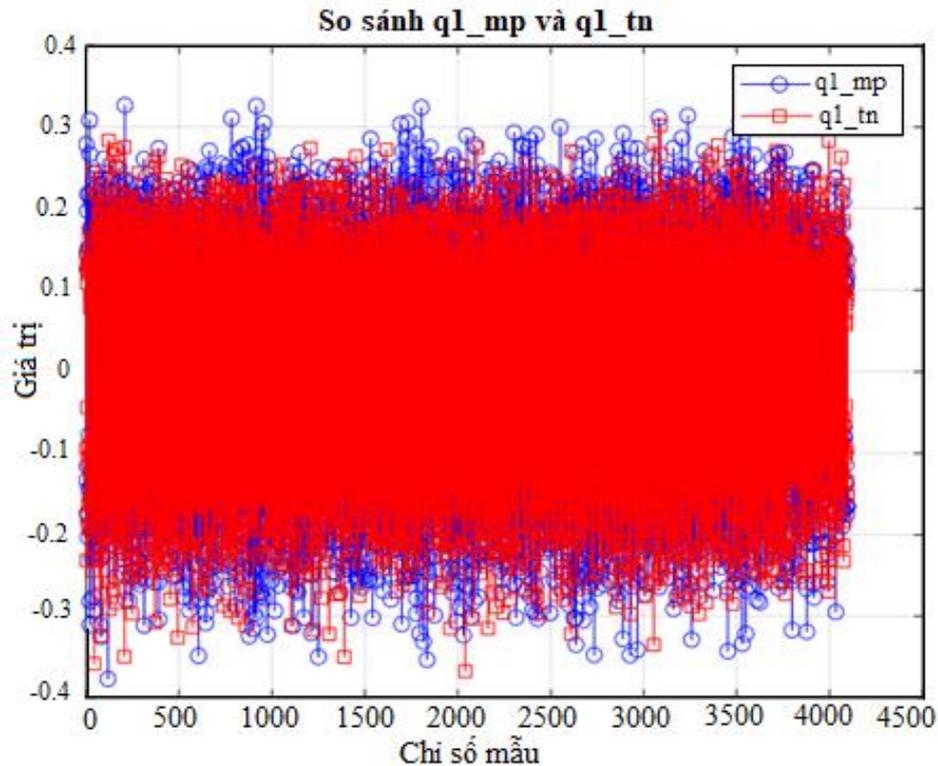
Hình 4.31 Đồ thị biểu diễn ảnh hưởng của dao động xe đến người ngồi

Trên hình là các đồ thị 2D bên trái và đồ thị 3D bên phải cho thấy mặt phẳng hồi quy luôn khớp với dữ liệu thực tế thí nghiệm, các điểm scatter nằm gần mặt dữ liệu cho thấy mô hình hồi quy phù hợp, không đòi hỏi cải thiện để thí nghiệm tiếp theo.

Trên hình a,b,c cho thấy mức ảnh hưởng của q_1 là biến dao động thẳng đứng của xe tại trọng tâm đến dao động đùi, ngực và đầu tương ứng của người ngồi vị trí ghế phụ n_1 . So sánh kết quả mô phỏng với kết quả thí nghiệm cho thấy mặc dù các điểm đo trong thí nghiệm có nhiều phân tán nhưng vẫn bám sát tập trung ở trung tâm vùng dữ liệu. Trên hình c dữ liệu đo phân tán theo phương thẳng đứng có thể do trên đầu người chịu thêm ảnh hưởng của khớp cổ. Điều này cho thấy các kết quả mô phỏng và thí nghiệm đảm bảo độ tin cậy.

4.7.3.4. Đánh giá sai số kết quả thí nghiệm

Biểu diễn trên đồ thị các giá trị kết quả đo giữa q_{1_tn} và q_{1_mp} như hình 4.32.



Hình 4.32 Đồ thị kết quả thí nghiệm và kết quả mô phỏng của q_1

Đặt các yếu tố trong thí nghiệm theo ký hiệu các biến gồm:

- p_{1_tn} : Gia tốc sàn xe theo phương x
- n_{1_tn} : Gia tốc trên đùi
- q_{1_tn} : Gia tốc sàn xe theo phương z
- n_{2_tn} : Gia tốc trên ngực
- p_{2_tn} : Gia tốc sàn xe theo phương y
- n_{3_tn} : Gia tốc trên đầu
- v_{tn} : Vận tốc xe chạy thí nghiệm

Để đánh giá độ sai khác giữa hai giá trị q_{1_tn} và q_{1_mp} ta sử dụng các tiêu chí sau:

a) Sai số tuyệt đối trung bình:

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |q_{1tn,i} - q_{1mp,i}| \quad (4.6)$$

MAE là trung bình của các sai số tuyệt đối, đo lường độ lệch trung bình giữa hai dãy số.

b) Sai số bình phương trung bình:

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (q_{1tn,i} - q_{1mp,i})^2 \quad (4.7)$$

Tiêu chí MSE khuếch đại sai số lớn hơn so với MAE.

c) Sai số căn trung bình bình phương RMSE:

$$RMSE = \sqrt{MSE} \quad (4.8)$$

RMSE đánh giá độ sai khác theo cùng đơn vị với dữ liệu.

d) Tỷ lệ sai số phần trăm trung bình MAPE:

$$MAPE = \frac{100\%}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{q_{1tn,i} - q_{1mp,i}}{q_{1mp,i}} \right| \quad (4.9)$$

Kết quả tính toán so sánh sai khác nhau giữa kết quả thí nghiệm và kết quả mô phỏng vận tốc 40 km/h theo các tiêu chí đánh giá được nêu trong bảng 4.4.

Bảng 4.4 Bảng tính toán sai số trong kết quả thí nghiệm và mô phỏng

	q_{1mp}	q_{1tn}
Giá trị trung bình của	0.000580	0.000300
Độ lệch chuẩn của	0.173901	
Hệ số tương quan giữa q_{1mp} và q_{1tn}	0.91	
Sai số tuyệt đối trung bình (MAE)	0.186320	
Sai số bình phương trung bình (MSE)	0.055125	
Sai số căn trung bình bình phương (RMSE)	0.134788	
Tỷ lệ sai số phần trăm trung bình (MAPE)	0.1131177	

Như vậy, giữa kết quả mô phỏng và kết quả thí nghiệm có sai lệch 11.3 (%) nằm trong khoảng có thể chấp nhận được.

4.8. KẾT LUẬN CHƯƠNG IV

Chương IV đã xây dựng được quy trình đo lường thực nghiệm trên xe khách County 29 chỗ và trên người ngồi bằng hệ thống thiết bị chuyên dụng hiện đại (Dewesoft Sirius, cảm biến ICP 356A16, DS-IMU1). Việc áp dụng

phương pháp hiệu chỉnh góc lệch cảm biến trên cơ thể người và sử dụng bộ lọc Butterworth đã loại bỏ hiệu quả các sai số và nhiễu tín hiệu, đảm bảo số liệu thu thập có độ hội tụ tốt với hệ số biến thiên $CV < 10\%$.

Các điều kiện thí nghiệm phù hợp với các điều kiện mô phỏng: Mấp mô mặt đường thực tế gồm mấp mô sin, xung và đường ngẫu nhiên có các thông số mặt đường tương đương với mặt đường mô phỏng. Vận tốc xe chạy trong thí nghiệm ở các mức thấp so với mô phỏng, $V = 20, 40, 60$ km/h do điều kiện thực tế không cho phép xe chạy thí nghiệm ở vận tốc cao 80 và 100 km/h.

Kết quả thực nghiệm cho thấy trên đường ngẫu nhiên ở vận tốc 20, 40, 60 km/h, dao động nằm trong giới hạn cho phép. Tuy nhiên, khi xe đi qua các mấp mô hình sin và xung, gia tốc dao động tại các vị trí cơ thể tăng vọt, đặc biệt tại đùi lên tới $5,1$ m/s², gây cảm giác cực kỳ khó chịu cho hành khách, phù hợp với nhận định lý thuyết.

Phân tích tương quan và hồi quy cho thấy sự phù hợp giữa quy luật biến thiên của dữ liệu thực nghiệm và mô phỏng. Sai số phần trăm trung bình giữa giá trị gia tốc mô phỏng và thực nghiệm là **11,3%**, cho thấy mô hình thí nghiệm đảm bảo được độ tin cậy.

KẾT LUẬN CHUNG VÀ HƯỚNG NGHIÊN CỨU TIẾP CỦA LUẬN ÁN

Luận án “Nghiên cứu ảnh hưởng dao động xe khách đến người ngồi trên xe” đã đạt được mục tiêu đề ra và có một số kết luận chính:

Nghiên cứu tổng quan đã đưa ra những đánh giá về mức độ quan trọng và sự cần thiết của vấn đề dao động ô tô đối với chất lượng xe trong sử dụng thông qua tiêu chuẩn về sức khỏe người ngồi trên xe. Luận án đã lấy chỉ tiêu gia tốc dao động trong tiêu chuẩn quốc tế ISO 2361-1 để đánh giá ảnh hưởng của dao động xe đến người ngồi.

Luận án đã xây dựng mô hình không gian và các phương trình dao động xe 9 bậc tự do trong đó 7 bậc tự do của xe và 2 bậc tự do của hai vị trí ghế theo phương thẳng đứng gồm vị trí ngồi ghế phụ và ghế hàng 3.

Giải hệ 9 phương trình dao động xe 9 bậc tự do có xét đến ảnh hưởng của tọa độ trọng tâm xe, vết bánh xe trước, sau và tọa độ của hai vị trí ngồi, bằng lập trình Matlab/Simulink. Các điều kiện vận hành: vận tốc xe khảo sát 20, 40, 60 và 80, 100 km/h và 4 loại mặt đường sin, xung, ngẫu nhiên và ISO 8608.

Xây dựng mô hình 3 khối lượng người ngồi trên ghế bằng mô hình lò xo khối lượng 3 bậc tự do, gồm khối lượng đầu, khối lượng ngực và khối lượng đùi, trong đó khối lượng đùi là đại diện của phần lưng, thân, tay, chân và mông người. Xây dựng sơ đồ Simulink mô phỏng phân tích tín hiệu kích thích từ ghế lên người gồm hai thành phần: thành phần biên độ dịch chuyển và thành phần vận tốc dịch chuyển của dao động ghế. Kết quả đã xác định được gia tốc dao động $a_w(m/s^2)$ và gia tốc RMS ở đầu, ngực và đùi người ngồi ở hai vị trí ghế trên xe và so sánh với tiêu chuẩn ISO 2361-, cho thấy các giá trị dao động của mô hình nghiên cứu là phù hợp.

Sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn mô phỏng 3D mô hình ghế - người, độ tin cậy trên đầu của hai phương pháp có $R^2 = 0.7311/0.692$, trên ngực có $R^2 = 0.7513/0.6334$, trên đùi có $R^2 = 0.8015/0.2972$ giúp tăng độ tin cậy của kết quả mô phỏng trong Matlab/Simulink khi chỉ xét được dao động theo phương thẳng đứng.

Kết quả thực nghiệm cho thấy trên đường ngẫu nhiên ở vận tốc 40, 60 km/h, dao động nằm trong giới hạn cho phép. Tuy nhiên, khi xe đi qua các mấp mô hình sin và xung, gia tốc dao động tại các vị trí cơ thể tăng vọt, đặc biệt tại đùi lên tới $5,1 \text{ m/s}^2$, gây cảm giác cực kỳ khó chịu cho hành khách, phù hợp với nhận định lý thuyết.

Phân tích tương quan và hồi quy cho thấy sự phù hợp giữa quy luật biến thiên của dữ liệu thực nghiệm và mô phỏng. Sai số phần trăm trung bình giữa giá trị gia tốc mô phỏng và thực nghiệm là 11,3%, cho thấy mô hình thí nghiệm đảm bảo được độ tin cậy. Từ các kết quả khảo sát trên có thể sử dụng làm cơ sở để đề xuất cải tiến ghế ngồi cho xe khách sản xuất và lắp ráp tại Việt Nam.

Hướng nghiên cứu tiếp

Do một số nguyên nhân khách quan và chủ quan nên đề tài còn một số hạn chế cần tiếp tục mở rộng nghiên cứu:

1. Tiếp tục khảo sát dao động tất cả các vị trí ghế ngồi trên xe, lập sơ đồ dao động của toàn bộ sàn xe.
2. Tiếp tục khảo sát dao động toàn bộ cơ thể người.
3. So sánh toàn bộ kết quả mô phỏng và kết quả thí nghiệm.
4. Tối ưu hóa kết cấu ghế ngồi ứng với các vị trí dao động sàn xe.

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC ĐÃ CÔNG BỐ

- [1]. *Lê Duy Long, Nguyễn Thanh Quang*, Study on bus noise and vibration with material selected, 2023 3rd International Conference on Electrical, Computer, Communications and Mechatronics Engineering (ICECCME), Tenerife, Canary Islands, Spain, 2023, pp. 1-4.
- [2]. *Lê Duy Long, Nguyễn Thanh Quang, Lê Hồng Quân, Phí Hoàng Trình, Lê Đức Hiếu*, Effect of road surface on vibration of passenger in bus vehicle, HaUI Journal of Science and Technology, Vol. 60 - No. 5 pp. 209 -212, May 2024.
- [3]. *Lê Duy Long, Nguyễn Thanh Quang, Lê Hồng Quân, Phạm Minh Hiếu, Lê Đức Hiếu*, Analysis of vibration experienced by passengers and their seats in a bus vehicle, HaUI Journal of Science and Technology, Vol. 60 - No. 5, pp. 219 -221, May 2024
- [4]. *Lê Duy Long, Nguyễn Thanh Quang, Lê Hồng Quân, Nguyễn Xuân Khoa, Trần Huy Hoàng, Lê Đình Đạt, Trần Đức Bình*, Simulation study of vibration of 5-seat sedan, HaUI Journal of Science and Technology, Vol. 61 - No. 7E, pp. 95 - 98, July 2025.
- [5]. *Lê Duy Long, Nguyễn Thanh Quang, Lê Hồng Quân, Nguyễn Xuân Khoa, Nguyễn Việt Hòa, Lê Đình Đạt, Trần Đức Bình*, Simulation study of vibration of 5-seat sedan, HaUI Journal of Science and Technology, Vol. 61 - No. 7E, pp. 115 - 118, July 2025.
- [6]. *Lê Duy Long, Nguyễn Thanh Quang, Lê Hồng Quân, Trần Đức Bình, Nguyễn Thái Vân*, Experimental Study on the Effect of Vehicle Vibrations on Passengers in a 29-Seat Coach, The International Conference on Machines, Energy and Digitization for Sustainable Development (IMEDS 2025) 2025, September Vinh Long Province, Vietnam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tài liệu tiếng việt

- [32] Đào Ngọc Điệp, (2010), Nghiên cứu rung ồn xe 8 chỗ Mefa 5 sản xuất lắp ráp tại Việt Nam, Luận án Tiến sĩ Kỹ thuật, Thư viện Quốc Gia Việt Nam.
- [33] Đặng Việt Hà (2010), Nghiên cứu ảnh hưởng của một số thông số đến độ êm dịu chuyển động của ô tô khách được đóng mới ở Việt Nam, Luận án Tiến sĩ Kỹ thuật, Trường Đại học Giao thông Vận Tải.
- [34] Lê Quỳnh Mai, (2015), Nghiên cứu ồn khoang xe khách 29 chỗ sản xuất lắp ráp tại Việt Nam, Luận án Tiến sĩ Kỹ thuật, Thư viện Quốc Gia Việt Nam.
- [35] Nguyễn Hồng Quang (2018), Nghiên cứu dao động ô tô tải sản xuất lắp ráp ở Việt Nam khi vận chuyển gỗ trên đường lâm nghiệp, Luận án Tiến sĩ Kỹ thuật, Trường Đại học Lâm nghiệp.
- [36] Nguyễn Văn Khang, Triệu Quốc Lộc, Nguyễn Anh Tuấn, (2007), Nghiên cứu ảnh hưởng của dao động toàn thân đến cơ thể người trong tư thế đứng, Tạp chí an toàn sức khỏe và môi trường lao động, số tháng 4/2007, trang 4-11.
- [37] Nguyễn Văn Khang, Triệu Quốc Lộc, Nguyễn Anh Tuấn, (2008), Nghiên cứu ảnh hưởng của dao động toàn thân đến cơ thể người trong tư thế ngồi, Tạp chí Bảo hộ Lao động, số tháng 3/2008, trang 17-20..
- [38] Nguyễn Hữu Đình, Chu Khắc Trung, (2018), Nghiên cứu ảnh hưởng của dao động tác động đến cánh tay người, A study on the effects of Vibration on human hand-arm, Số 49.2018, Tạp chí KHOA HỌC & CÔNG NGHỆ, trang 81-84. ISSN 1859-3585.
- [39] Nguyễn Mạnh Trường (2022), Nghiên cứu độ êm dịu chuyển động của xe khách giường nằm được sản xuất và lắp ráp tại Việt Nam, Luận án Tiến sĩ Kỹ thuật, Học viện Kỹ thuật Quân sự
- [60] Bộ giao thông vận tải (2015), QCVN 09: 2015/BGTVT Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng an toàn kỹ thuật và bảo vệ môi trường đối với ô tô.
- [62] Trần Thanh An, (2012), Nghiên cứu tối ưu các thông số hệ thống treo ô tô khách sử dụng tại Việt Nam, LATSKT, Thư viện Quốc gia Việt Nam

- [66] Bộ y tế (2016), QCVN 27/2016/BYT Quy định quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về Rung – giá trị cho phép tại nơi làm việc.

Tài liệu tiếng anh

- [1] ISO 2631-1 Second Edition 1997 – Mechanical Vibration and Shock – Evaluation of Human Exposure to Whole Body Vibration.
- [2] Helena Skröder, et al., (2020), Occupational exposure to whole-body vibrations and pregnancy complications: a nationwide cohort study in Sweden, Occupational and Environmental Medicine, doi:10.1136/oemed-2020-106519.
- [3] Anna Nyberg, (2017), Increasing mental illness on its way to being explained, Stress Research Institute, Stockholm University, Swedish Research Council for Health, Working Life.
- [4] A.T. Rybak, V.P. Zharov, A.V. Serdyukov, Russian Engineering Research 29(2), 194- 197 (2009).
- [5] A.T. Rybak, A.R. Temirkanov, O.V. Lyakhnitskaya, Russian Engineering Research 38(9), 702-704 (2018).
- [6] K. Kobzev, S. Shamshura, A. Chukarin, V. Bogdanovich, V. Kasyanov, MATEC Web of Conferences 226, 01022 (2018).
- [7] K. Kobzev, A. Chukarin, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 403, 012145 (2019).
- [8] K.O. Kobzev, E.S. Bozhko, A.V. Mozgovoï, E.I. Kostromina, L.G. Babenko, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 680, 012013 (2019).
- [9] Marion Burgess et al, (2012), Implementation and Effectiveness of the European Directive relating to Vibration in the Workplace, Parts 1 and 2, SAFE WORK AUSTRALIA Commonwealth of Australia, ISBN 978-0-642-78573-2.
- [10] Engel, Z.W. & Kowalski, P. Investigation of the influence of simultaneous vibroacoustic exposures on the operator. Journal of the Theoretical and Applied Mechanics. 2008. Vol. 46(4). P. 799-811.
- [11] Nader, M. Influence of mechanical vibration on the human body in the means of transport and its modeling. Archiwum Transportu - Archives of Transport. 2000. Vol. 12(2). P. 33-53.

- [12] Effect Of Vehicle Vibration On Human Body – RIT Experience, Katsu U.S., Desavale R.G. and Kanai R.A. Department of Mechanical Engg. Rajarambapu Institute of Technology Sakharale - 415414.
- [13] Gang Sheng, "Vehicle Noise, Vibration, and Sound Quality," in *Vehicle Noise, Vibration, and Sound Quality*, SAE, 2014, pp.i-xi.
- [14] M.J. Griffin (1990), Handbook of human vibration, Chapter 1: Vibration and human responses, Fig. 1.2, pp.4.
- [15] Kihong Shin, Joseph Hammond, (2008), Fundamentals of signal processing for sound and vibration engineers, John Wiley & Son, Ltd., ISBN: 9780470511886. <http://eprints.soton.ac.uk/id/eprint/63688>.
- [16] M. Agostinacchio, D. Ciampa, S. Olita, (2013), The vibrations induced by surface irregularities in road pavements, SpringerLink.com.
- [17] M. Shinozuka, digital simulation of random processes and its applications (1972), Journal of sound and vibration, pages 111-128. [https://doi.org/10.1016/0022-460X\(72\)90600-1](https://doi.org/10.1016/0022-460X(72)90600-1).
- [18] ISO 8608:2016 Mechanical vibration — Road surface profiles — Reporting of measured data.
- [19] X. Wang. (2010), Rationale and history of vehicle noise and vibration refinement, Vehicle Noise and Vibration Refinement, Cambridge, UK: Woodhead Publishing Ltd. ISBN 978-1-84569-497-5.
- [20] Mohammad AlShabi, Walaa Araydah, Hani ElShatarat, Mohammad Othman, Mohammed Bani Younis, Stephen Andrew Gadsden, (2016), Effect of Mechanical Vibrations on Human Body, World Journal of Mechanics, 2016, 6, 273-304 <http://www.scirp.org/journal/wjm> ISSN Onli.
- [21] T. Bein, T. Melz, (2012), Advanced materials and technologies for reducing noise, vibration and harshness (NVH) in Automobiles, in Advanced Materials in Automotive Engineering, 2012.
- [22] P.K. Mallick, (2021), Designing lightweight vehicle body, Materials, Design and Manufacturing for Lightweight Vehicles (Second Edition).
- [23] M. Menday, (2010), An introduction to noise and vibration issues in the automotive drivetrain and the role of tribology, Tribology and Dynamics of Engine and Powertrain, 2010.

- [24] Qianfan Xin, (2013), Noise, vibration, and harshness (NVH) in diesel engine system design, Diesel Engine System Design, 2013.
- [25] R. Burdzik and L. Konieczny, “Vibration Issues in Passenger Car”, Ph.D. thesis, Silesian University of Technology, 2014.
- [26] M. Mohammadpour, H. Rahnejat, (2014), Tribodynamics of differential hypoid gears, International Gear Conference 2014: 26th–28th August 2014, Lyon, 2014.
- [27] W. Abbas, O. B. Abouelatta, M. El-Azab, M. Elsaidy and A. A. Megahed, Scientific Research 2, 710-719 (2010). Vibration in car seat- occupant system: Overview and proposal of a novel simulation method, AIP Conference Proceedings 2080, 040003 (2019).
- [28] Wael Abbas, Ashraf Emam, Saeed Badran, Mohamed Shebl, Ossama Abouelatta, (W. Abbas et al) (2013), Optimal Seat and Suspension Design for a Half-Car with Driver Model Using Genetic Algorithm, Intelligent Control and Automation, 2013, 4, 199-205 <http://dx.d>.
- [29] G. Batt, “Primary Resonance Behavior of Expanded Polymer Cushion Material under Low-Intensity Harmonic Excitations”, Ph.D. thesis, Clemson University, 2013.
- [30] Kitazaki, S. and Griffin, M.J. (1998) Resonance Behaviour of the Seated Human Body and Effects of Posture. *Journal of Biomechanics*, 31, 143-149. [https://doi.org/10.1016/S0021-9290\(97\)00126-7](https://doi.org/10.1016/S0021-9290(97)00126-7).
- [31] Rafal Burdzik, (2014), Identification of structure and directional distribution of vibration transferred to car-body from road roughness, *Journal of Vibroengineerin*, Online ISSN: 2538-8460 Print ISSN: 1392-8716.
- [40] Subhash Rakheja, et al, (2020), Whole-body vibration biodynamics - a critical review: II. Biodynamic modelling, *International Journal of Vehicle Performance*. Published by Inderscience Publishers. Online ISSN: 1745-3208. Print ISSN: 1745-3194, pp 52-84, h.
- [41] Boileau P-É, Rakheja S, Yang X, Stiharu I. (1997) Comparison of biodynamic response characteristics of various human body models as applied to seated vehicle drivers. *Noise and Vibration. Worldwide* 28, 7-15.

- [42] Liang C-F, Chiang C-F, Nguyen T-G. (2007) Biodynamic responses of seated pregnant subjects exposed to vertical vibrations in driving conditions. *Vehicle System Dynamics*, 45, 1017-1049.
- [43] Seidel H, Griffin M. (2001) Modelling the response of the spinal system to whole-body vibration and repeated shock. *Clinical Biomechanics* 16 Suppl.(1), S3-S7.
- [44] Boileau P-É, Rakheja S, Wu X. (2002) A body mass dependent mechanical impedance model for applications in vibration seat testing. *J. Sound and Vibn.* 253, 243-264.
- [45] Fairley T, Griffin M. (1989) The apparent mass of the seated human body: vertical vibration. *J. Biomechanics* 22, 81-94.
- [46] Wang W, Rakheja S, Boileau P-É (2006) Effects of back support condition on seat to head transmissibilities of seated occupants under vertical vibration. *J. Low Freq. Noise and Vibn.* 25 (4), 239-259.
- [47] ISO 5982:2001, Mechanical vibration and shock — Range of idealized values to characterize seated-body biodynamic response under vertical vibration.
- [48] Matsumoto, Griffin M. (2001) The validation of biodynamic models. *Clinical Biomechanics*, PMID: 11275346; DOI: 10.1016/s0268-0033(00)00101-7.
- [49] Amirouche F, Ider S. (1988) Simulation and analysis of a biodynamic human model subjected to low accelerations—a correlation study. *J Sound and Vibn.* 123, 281-292.
- [50] Kim T, Kim Y, Yoon Y. (2005) Development of biomechanical model of the human body in a sitting posture with vibration transmissibility in the vertical direction, *Intl. J. Indus Ergonomics*, 35, 817-829.
- [51] Pankoke S, Buck B, Wölfel H. (1998) Dynamic FE model of sitting man adjustable to body height, body mass and posture used for calculating internal forces in the lumbar vertebral disks. <https://doi.org/10.1006/jsvi.1998.1699> *Journal of Sound and Vibration*,.
- [52] Natarajan R, Ke J, Andersson G. (1994) A model to study the disc degeneration process. *Spine*, 19, 259-265.
- [53] Karwowski W, Gaweda A, Marras W, Davis K, Zurada J, Rodrick D. (2006) A fuzzy relational rule network modeling of electromyographical

- activity of trunk muscles in manual lifting based on trunk angles, moments, pelvic tilt and rotation angles. *Intl. J Indu.*
- [54] Zurada J, Karwowski W, Marras W. (1997) A neural network-based system for classification of industrial jobs with respect to risk of low back disorders due to workplace design. *Applied Ergonomics*, 28, 49-58.
- [55] <https://trucknbus.hyundai.com/global/products/bus/county>.
- [56] Raphaël Dumas, (2017), Estimation of the Body Segment Inertial Parameters for the Rigid Body Biomechanical Models Used in Motion Analysis, pp 1-31, *Handbook of Human Motion*. https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-3-319-30808-1_147-1
- [57] Gavriel Salvendy, (2022), *Handbook of human factors and ergonomics*, fourth edition, ISBN: ISBN 978-1-118-13135-0 (ebk), Publisher: Wiley ; Copyright © 2012 John Wiley & Sons, Inc.
- [58] Clarence W. de Silva, (2005), *Vibration and Shock Handbook*, Taylor & Francis, ISBN 0-8493-1580-8.
- [59] Ammon, D: *Modellbildung und Systementwicklung in der Fahrzeugdynamik*, B.G.Teubner Stuttgart, 1997.
- [61] Jiwei Zhang, Yaomin Dong, Yunbing Yan, (2019), Static stiffness analysis of car seats based on experimental and numerical investigation, *International Journal of Mechanical and Production Engineering*, ISSN(p): 2320-2092, ISSN(e): 2321-2071 Volume- 7, Issue-9, Sep.-2019, <http://iraj.in>
- [63] Singiresu S. Rao, (2011), *Mechanical Vibrations*, 5th edition, ISBN 978-0-13-212819-3 (978-0-13-212819-3, Prentice Hall, 2011
- [64] Tyan F., Hong Y., et al, (2009), “Generation of Random Road Profiles”, *Journal of Advance Engineering*, Vol. 4, No. 2, pp. 151-156 / April 2009
- [65] <https://www.ansys.com/academic/students/ansys-student>

**BỘ CÔNG THƯƠNG
ĐẠI HỌC CÔNG NGHIỆP HÀ NỘI**



DANH MỤC PHỤ LỤC LUẬN ÁN

**ĐỀ TÀI: “NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG DAO ĐỘNG XE KHÁCH ĐẾN
NGƯỜI NGỒI TRÊN XE”**

*Chuyên ngành : Kỹ thuật Cơ khí động lực
Mã số : 9520116*

Nghiên cứu sinh : LÊ DUY LONG

Khoa Công nghệ Ô tô, Trường Cơ khí - Ô tô, Đại học Công nghiệp Hà Nội

Hà Nội – Năm 2026

PHỤ LỤC

- PHỤ LỤC 2.1: CÁC THÔNG SỐ KỸ THUẬT XE COUNTY 29 CHỖ
- PHỤ LỤC 2.2: CÁC THÔNG SỐ HỆ THỐNG TREO XE COUNTY 29 CHỖ
- PHỤ LỤC 3.1: CODE MATLAB
- PHỤ LỤC 3.2: ĐỒ THỊ KẾT QUẢ MÔ PHỎNG DAO ĐỘNG XE KHÁCH 29 CHỖ _MÁP MÔ SIN
- PHỤ LỤC 3.3: ĐỒ THỊ KẾT QUẢ MÔ PHỎNG DAO ĐỘNG XE KHÁCH 29 CHỖ _MÁP MÔ XUNG
- PHỤ LỤC 3.4: ĐỒ THỊ KẾT QUẢ MÔ PHỎNG DAO ĐỘNG XE KHÁCH 29 CHỖ _MÁP MÔ NGẪU NHIÊN
- PHỤ LỤC 3.5: ĐỒ THỊ KẾT QUẢ MÔ PHỎNG DAO ĐỘNG XE KHÁCH 29 CHỖ _ISO 8608
- PHỤ LỤC 3.6: ĐỒ THỊ MÔ PHỎNG CÁC LOẠI MẶT ĐƯỜNG
- PHỤ LỤC 3.7: ĐỒ THỊ KẾT QUẢ ĐÁNH GIÁ DAO ĐỘNG VỊ TRÍ HÀNH KHÁCH
- PHỤ LỤC 3.8. ĐẶC TÍNH CÁC VẬT LIỆU CỦA MÔ HÌNH GHẾ_ NGƯỜI NGỒI
- PHỤ LỤC 4: KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM
- PHỤ LỤC 5: MỘT SỐ HÌNH ẢNH THÍ NGHIỆM

**PHỤ LỤC 2.1: THÔNG SỐ KỸ THUẬT THIẾT KẾ XE COUNTY 29
CHỖ**

D x R x C (mm)	7,620 x 2,090 x 2,855
Chiều dài cơ sở (mm)	4,085
Vết bánh xe trước/sau	1,735 / 1,495
Khối lượng không tải	4,600
Khối lượng không tải phân bổ cầu trước	2,140
Khối lượng không tải phân bổ cầu sau	2,460
Khối lượng toàn tải	6,900
Khối lượng toàn tải phân bổ cầu trước	2,500
Khối lượng toàn tải phân bổ cầu sau	4,400
Số người cho phép chuyên chở kể cả người lái	29 (1885 kg)
Hệ thống treo trước/sau (phụ thuộc)	Nhíp lá, giảm chấn thủy lực
Cỡ lốp (trước/sau)	7.00 R16
Vận tốc tối đa(km/h)	100

**PHỤ LỤC 2.2: CÁC THÔNG SỐ CƠ BẢN HỆ THỐNG TREO XE
COUNTY 29 CHỖ**

TT	Tên gọi	Đơn vị	Giá trị
1	Khối lượng được treo (kg)	M	6900
2	Khối lượng không được treo trước (kg)	M1	746
3	Khối lượng không được treo sau (kg)	M2	1355
4	Mô men quán tính khối lượng được treo theo trục x (Kg.m/s ²)	I _x	7876
5	Mô men quán tính khối lượng được treo theo trục y (Kg.m/s ²)	I _y	58734
6	Mô men quán tính khối lượng được treo cầu trước theo trục x (Kg.m/s ²)	I _{1x}	577
7	Mô men quán tính khối lượng được treo cầu sau theo trục x (Kg.m/s ²)	I _{2x}	1049
8	Độ cứng HTT trước trái (kg/m)	K11	106193
9	Độ cứng HTT trước phải (kg/m)	K12	106193
10	Độ cứng HTT sau trái (kg/m)	K21	154709
11	Độ cứng HTT sau phải (kg/m)	K22	154709
12	Cản giảm chấn HTT trước trái (kg.s/m)	C11	7265
13	Cản giảm chấn HTT trước phải (kg.s/m)	C12	7265
14	Cản giảm chấn HTT sau trái (kg.s/m)	C21	11297
15	Cản giảm chấn HTT sau phải (kg.s/m)	C22	11927
16	Độ cứng lớp trước trái/phải (kg/m)	KL1/KR1	150/150
17	Cản giảm chấn lớp trước trái/phải (kg/m)	CL1/CR1	300/300
18	Độ cứng lớp sau trái/phải (kg/m)	KL2/KR2	150/150
19	Cản giảm chấn lớp sau trái/phải (kg/m)	CL2/CR2	300/300
20	Độ cứng thanh cân bằng trước/sau (kg/m)	CF/CR	15000/20000
21	Tọa độ từ trọng tâm đến cầu trước (m)	a	2.1
22	Tọa độ từ trọng tâm đến cầu sau (m)	b	1.985
23	Vết bánh xe trước (m)	c	1.0
24	Vết bánh xe sau (m)	d	1.2

25	Khối lượng ghế - người ghế phụ (kg)	mp	110
26	Độ cứng ghế - người ghế phụ (kg/m)	Kp	500
27	Cản giảm chấn ghế phụ (kg.s/m)	Cp	50
28	Tọa độ theo trục x (m)	Spx	2
29	Tọa độ theo trục y (m)	Spy	0.05
30	Khối lượng ghế - người ghế hàng 3 (kg)	ms	110
31	Độ cứng ghế - người ghế hàng 3 (kg/m)	Ks	1000
32	Cản giảm chấn ghế hàng 3 (kg.s/m)	CS	100
33	Tọa độ theo trục x (m)	Ssx	1.1
34	Tọa độ theo trục y (m)	Ssy	0.2

PHỤ LỤC 3.1

CODE MATLAB CHƯƠNG TRÌNH MÔ PHỎNG DAO ĐỘNG XE KHÁCH 29 CHỖ TRÊN MÔ HÌNH 9 BẬC TỰ DO

```

%% Phân tích dao động xe khách 29 chỗ
%% Hướng dẫn lập trình bởi PGS.TS Nguyễn Thanh Quang
%% Thực hiện bởi NCS Lê Duy Long

% Định nghĩa các thông số hệ thống
M=6900; % Khối lượng được treo
M1=746; % Khối lượng được treo trước
M2=1355; % Khối lượng được treo sau
Ix=7876; % Mô men quán tính khối lượng được treo theo trục x
Iy=58734; % Mô men quán tính khối lượng được treo theo trục y
I1x=577; % Mô men quán tính của khối lượng không được treo cầu trước theo
trục x
I2x=1049; % Mô men quán tính khối lượng được treo của cầu sau theo trục x

K11=106193; K12=106193; % Hệ số độ cứng của hệ thống treo trước trái, phải
C11=7265; C12=7265; % Hệ số giảm chấn của hệ thống treo trước trái, phải
K21=154709; K22=154709; % Hệ số độ cứng của hệ thống treo sau trái, phải
C21=11297; C22=11297; % Hệ số giảm chấn của hệ thống treo sau trái, phải
CL1=300; CR1=300; % Độ cứng lốp trước trái; phải
CL2=300; CR2=300; % Độ cứng lốp sau trái; phải
KL1=150; KR1=150; KL2=150; KR2=150; % Độ cứng lốp trước, sau
a=2.1;b=1.985; % (m) khoảng cách từ tâm cầu trước và cầu sau đến trọng tâm
xe

c=1.0; % Vết bánh trước
d=1.2; % Vết bánh sau

CF = 15000; Độ cứng thanh cân bằng trước
CR = 20000; Độ cứng thanh cân bằng sau

mp = 110; Khối lượng ghế, người vị trí ghế phụ
Kp = 500; Cp = 50; Độ cứng và cản giảm chấn ghế, người vị trí ghế phụ
Spx = 2; Spy = 0.050; Tọa độ của ghế, người vị trí ghế phụ

ms = 110; Khối lượng ghế, người vị trí ghế hàng 3
Ks = 1000; Cs = 100; Độ cứng và cản giảm chấn ghế, người vị trí ghế hàng 3
Ssx = 1.1; Ssy = 0.2; Tọa độ của ghế, người vị trí ghế hàng 3

% Khởi tạo ma trận khối lượng (M)

M = [m, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0;
      0, Ix, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0;

```

```

0, 0, Iy, 0, 0, 0, 0, 0, 0;
0, 0, 0, m1, 0, 0, 0, 0, 0;
0, 0, 0, 0, I1x, 0, 0, 0, 0;
0, 0, 0, 0, 0, m2, 0, 0, 0;
0, 0, 0, 0, 0, 0, I2x, 0, 0;
0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, mp, 0;
0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, ms ];

```

```
% Khai báo các phần tử của ma trận C (hệ số cản)
```

```

c11 = 100; c12 = 10; c13 = 5; c14 = 8; c15 = 6; c16 = 7; c17 = 9; c18 = 4;
c19 = 3;
c21 = 10; c22 = 120; c23 = 15; c24 = 12; c25 = 7; c26 = 9; c27 = 10; c28 = 6;
c29 = 8;
c31 = 5; c32 = 15; c33 = 110; c34 = 10; c35 = 9; c36 = 6; c37 = 8; c38 = 7;
c39 = 5;
c41 = 8; c42 = 12; c43 = 10; c44 = 130; c45 = 8; c46 = 9; c47 = 6; c48 = 7;
c49 = 5;
c51 = 6; c52 = 7; c53 = 9; c54 = 8; c55 = 140; c56 = 5; c57 = 10; c58 = 6;
c59 = 7;
c61 = 7; c62 = 9; c63 = 6; c64 = 9; c65 = 5; c66 = 125; c67 = 8; c68 = 10;
c69 = 7;
c71 = 9; c72 = 10; c73 = 8; c74 = 6; c75 = 10; c76 = 8; c77 = 150; c78 = 9;
c79 = 6;
c81 = 4; c82 = 6; c83 = 7; c84 = 7; c85 = 6; c86 = 10; c87 = 9; c88 = 160;
c89 = 5;
c91 = 3; c92 = 8; c93 = 5; c94 = 5; c95 = 7; c96 = 7; c97 = 6; c98 = 5;
c99 = 170;

```

```
% Ma trận C (hệ số cản)
```

```

C = [c11, c12, c13, c14, c15, c16, c17, c18, c19;
c21, c22, c23, c24, c25, c26, c27, c28, c29;
c31, c32, c33, c34, c35, c36, c37, c38, c39;
c41, c42, c43, c44, c45, c46, c47, c48, c49;
c51, c52, c53, c54, c55, c56, c57, c58, c59;
c61, c62, c63, c64, c65, c66, c67, c68, c69;
c71, c72, c73, c74, c75, c76, c77, c78, c79;
c81, c82, c83, c84, c85, c86, c87, c88, c89;
c91, c92, c93, c94, c95, c96, c97, c98, c99];

```

```
% Khai báo các phần tử của ma trận K (độ cứng)
```

```

k11 = 50000; k12 = 2000; k13 = 1500; k14 = 1800; k15 = 1600; k16 = 1700;
k17 = 1900; k18 = 1400; k19 = 1300;
k21 = 2000; k22 = 60000; k23 = 2500; k24 = 2200; k25 = 1700; k26 = 1900;
k27 = 2000; k28 = 1600; k29 = 1800;

```

k31 = 1500; k32 = 2500; k33 = 55000; k34 = 2100; k35 = 1900; k36 = 1600;
 k37 = 1800; k38 = 1700; k39 = 1500;
 k41 = 1800; k42 = 2200; k43 = 2100; k44 = 65000; k45 = 1800; k46 = 1900;
 k47 = 1600; k48 = 1700; k49 = 1500;
 k51 = 1600; k52 = 1700; k53 = 1900; k54 = 1800; k55 = 70000; k56 = 1500;
 k57 = 2000; k58 = 1600; k59 = 1700;
 k61 = 1700; k62 = 1900; k63 = 1600; k64 = 1900; k65 = 1500; k66 = 62000;
 k67 = 1800; k68 = 2000; k69 = 1700;
 k71 = 1900; k72 = 2000; k73 = 1800; k74 = 1600; k75 = 2000; k76 = 1800;
 k77 = 75000; k78 = 1900; k79 = 1600;
 k81 = 1400; k82 = 1600; k83 = 1700; k84 = 1700; k85 = 1600; k86 = 2000;
 k87 = 1900; k88 = 80000; k89 = 1500;
 k91 = 1300; k92 = 1800; k93 = 1500; k94 = 1500; k95 = 1700; k96 = 1700;
 k97 = 1600; k98 = 1500; k99 = 85000;

% Ma trận K (độ cứng)

K = [k11, k12, k13, k14, k15, k16, k17, k18, k19;
 k21, k22, k23, k24, k25, k26, k27, k28, k29;
 k31, k32, k33, k34, k35, k36, k37, k38, k39;
 k41, k42, k43, k44, k45, k46, k47, k48, k49;
 k51, k52, k53, k54, k55, k56, k57, k58, k59;
 k61, k62, k63, k64, k65, k66, k67, k68, k69;
 k71, k72, k73, k74, k75, k76, k77, k78, k79;
 k81, k82, k83, k84, k85, k86, k87, k88, k89;
 k91, k92, k93, k94, k95, k96, k97, k98, k99];

% Ma trận H (tác động từ mặt đường)

H = [1, 1, 1, 1;
 a, -a, -b, b;
 c, -c, -d, d;
 1, 0, 0, 0;
 0, 1, 0, 0;
 0, 0, 1, 0;
 0, 0, 0, 0;
 Spx, -Spx, Ssx, -Spx;
 Spy, -Spy, Spx, -Spy];

% Gọi hàm tính toán ma trận trạng thái

[A, B, C_out, D] = state_space_model(M, C, K, H);

% Tạo hệ thống không gian trạng thái

sys = ss(A, B, C_out, D);

% Hiện thị hệ thống

disp('Hệ thống không gian trạng thái:');

```

disp(sys);

%% state_space_model.m
% Hàm tạo mô hình không gian trạng thái từ các ma trận hệ thống
function [A, B, C_out, D] = state_space_model(M, C, K, H)
    % Kích thước hệ thống
    n = size(M, 1); % Số bậc tự do của hệ

    % Ma trận trạng thái A
    A = [zeros(n, n), eye(n);
        -M\K, -M\C];

    % Ma trận đầu vào B
    B = [zeros(n, size(H,2));
        M\H];

    % Chọn các biến vị trí q làm đầu ra (chỉ lấy phần q trong X)
    C_out = [eye(n), zeros(n, n)];

    % Ma trận truyền D (không có đầu vào trực tiếp)
    D = zeros(n, size(H,2));
end

%% road_excitation_simulation.m
% Script mô phỏng hệ thống với các kích thích mặt đường khác nhau

% Đảm bảo các biến đã tồn tại
if ~exist('A', 'var') || ~exist('B', 'var') || ~exist('C_out', 'var') || ~exist('D', 'var')
    error('Các ma trận trạng thái A, B, C, D chưa được khởi tạo! Chạy
main_script trước.');
```

```

end

% Thời gian mô phỏng
t_final = 10; % Thời gian mô phỏng (giây)
dt = 0.01; % Bước thời gian
t = 0:dt:t_final; % Vector thời gian

% Các vận tốc (m/s) chuyển từ km/h
velocities = [28, 40, 60, 80] * (1000/3600);

% Khởi tạo biến lưu kết quả
results_displacement = struct();
results_acceleration = struct();

% Tạo các loại kích thích mặt đường
```

```

road_types = {'sin', 'pulse', 'random', 'iso8608'};

% Lặp qua các loại mặt đường
for road_idx = 1:length(road_types)
    road_type = road_types{road_idx};

    % Lặp qua các vận tốc
    for v_idx = 1:length(velocities)
        v = velocities(v_idx);

        % Tạo tín hiệu kích thích mặt đường tùy theo loại
        switch road_type
            case 'sin'
                % Sóng sin - mô phỏng đường lượn sóng
                frequency = v / 10; % Tần số phụ thuộc vào vận tốc
                F_road = [sin(2*pi*frequency*t);
                        sin(2*pi*frequency*t + pi/4);
                        sin(2*pi*frequency*t + pi/2);
                        sin(2*pi*frequency*t + 3*pi/4)];

            case 'pulse'
                % Sóng vuông - mô phỏng đường gồ ghề
                frequency = v / 20;
                F_road = [square(2*pi*frequency*t);
                        square(2*pi*frequency*t + pi/4);
                        square(2*pi*frequency*t + pi/2);
                        square(2*pi*frequency*t + 3*pi/4)];

            case 'random'
                % Ngẫu nhiên - mô phỏng đường không đều
                rng(42); % Cố định seed để tái lập kết quả
                F_road = randn(4, length(t)) * 100;

            case 'iso8608'
                % ISO 8608 - mô phỏng theo tiêu chuẩn quốc tế
                F_road = zeros(4, length(t));

                % Số hài sử dụng
                num_harmonics = 50;

                % Dải tần số (Hz)
                freq_range = linspace(0.1, 10, num_harmonics);

                % Hệ số suy giảm theo ISO 8608 (Class C road)
                w_0 = 1; % rad/m

```

```

G_d_0 = 64e-6; % m2/(rad/m) cho đường loại C

% Tính phổ công suất dịch chuyển
for wheel = 1:4
    phase_shift = (wheel-1) * pi/4; % Pha khác nhau cho mỗi bánh xe

    for i = 1:num_harmonics
        w = 2 * pi * freq_range(i); % rad/s
        spatial_freq = w / v; % rad/m

        % PSD theo ISO 8608
        if spatial_freq ~ = 0
            G_d = G_d_0 * (w_0 / spatial_freq)^2;
        else
            G_d = 0;
        end

        % Biên độ từ PSD
        amplitude = sqrt(2 * G_d * (freq_range(2) - freq_range(1)) *
2*pi);

        % Góc pha ngẫu nhiên
        phi = 2 * pi * rand() + phase_shift;

        % Cộng dồn dao động
        F_road(wheel, :) = F_road(wheel, :) + amplitude * cos(w * t +
phi);
    end
end
end

% Tạo đầu vào cho hệ thống
U = F_road';

% Điều kiện ban đầu (tất cả các trạng thái bằng 0)
X0 = zeros(size(A, 1), 1);

% Mô phỏng hệ thống với đầu vào đã tạo
[Y, T, X] = lsim(sys, U, t, X0);

% Lưu kết quả dịch chuyển (q1, ..., q9)
results_displacement.(road_type).(['v' num2str(v_idx)]) = Y;

% Tính gia tốc từ vị trí
acceleration = diff(diff(Y))/dt^2;

```

nhau
 acceleration = [zeros(2, size(Y, 2)); acceleration]; % Giữ kích thước giống

```
results_acceleration.(road_type).(['v' num2str(v_idx)]) = acceleration;
```

```
% Vẽ đồ thị dịch chuyển
```

```
figure;
```

```
plot(T, Y, 'LineWidth', 1.5);
```

```
xlabel('Thời gian (s)');
```

```
ylabel('Dịch chuyển (m)');
```

```
title(sprintf('Dịch chuyển (q1-q9) | Đường: %s | Vận tốc: %.1f km/h', ...
  road_type, v*3.6));
```

```
legend({'q1','q2','q3','q4','q5','q6','q7','q8','q9'}, 'Location', 'best');
```

```
grid on;
```

```
% Thêm đồ thị kích thích đầu vào
```

```
figure;
```

```
plot(t, F_road, 'LineWidth', 1.5);
```

```
xlabel('Thời gian (s)');
```

```
ylabel('Biên độ');
```

```
title(sprintf('Kích thích mặt đường | Loại: %s | Vận tốc: %.1f km/h', ...
  road_type, v*3.6));
```

```
legend({'Bánh 1', 'Bánh 2', 'Bánh 3', 'Bánh 4'}, 'Location', 'best');
```

```
grid on;
```

```
end
```

```
end
```

```
subplot(2,1,2);
```

```
semilogx(wout, squeeze(phase(1,1,:)), 'LineWidth', 2);
```

```
hold on;
```

```
semilogx(wout, squeeze(phase(2,1,:)), 'LineWidth', 2);
```

```
semilogx(wout, squeeze(phase(3,1,:)), 'LineWidth', 2);
```

```
grid on;
```

```
xlabel('Tần số (rad/s)');
```

```
ylabel('Pha (độ)');
```

```
title('Biểu đồ Bode - Pha');
```

```
legend({'q1 (thân xe)', 'q2 (góc lắn)', 'q3 (góc pitch)'});
```

```
%% Hiển thị một số chỉ số đánh giá hiệu suất
```

```
for road_idx = 1:length(road_types)
```

```
  road_type = road_types{road_idx};
```

```
  fprintf("\n=== Đánh giá hiệu suất cho loại đường %s ===\n", road_type);
```

```
  for v_idx = 1:length(velocities)
```

```

v = velocities(v_idx);

% Lấy dữ liệu dịch chuyển và gia tốc
disp_data = results_displacement.(road_type).(['v' num2str(v_idx)]);
accel_data = results_acceleration.(road_type).(['v' num2str(v_idx)]);

% Tính RMS (Root Mean Square) cho dịch chuyển thân xe
rms_disp = rms(disp_data(:,1));

% Tính RMS cho gia tốc thân xe
rms_accel = rms(accel_data(:,1));

% Hiển thị kết quả
fprintf('Vận tốc: %.1f km/h\n', v*3.6);
fprintf(' Dịch chuyển RMS (thân xe): %.4f m\n', rms_disp);
fprintf(' Gia tốc RMS (thân xe): %.4f m/s^2\n', rms_accel);
fprintf(' Mức độ thoải mái: %s\n\n', comfort_level);
end
end

%% Đánh giá q8 và q9 theo tiêu chuẩn ISO 2631

% Kiểm tra xem dữ liệu mô phỏng đã tồn tại chưa
if ~exist('results_displacement', 'var') || ~exist('results_acceleration', 'var')
    error('Dữ liệu mô phỏng chưa tồn tại! Hãy chạy mô phỏng trước.');
```

```

plot(t, q9, 'r', 'LineWidth', 1.5);
xlabel('Thời gian (s)');
ylabel('Dịch chuyển (m)');
title('Dịch chuyển q8 và q9 theo thời gian');
legend('q8 - Ghế tài xế', 'q9 - Ghế hành khách', 'Location', 'best');
grid on;

% Vẽ đồ thị gia tốc của q8 và q9
subplot(2,1,2);
plot(t, accel_q8, 'b', 'LineWidth', 1.5); hold on;
plot(t, accel_q9, 'r', 'LineWidth', 1.5);
xlabel('Thời gian (s)');
ylabel('Gia tốc (m/s^2)');
title('Gia tốc q8 và q9 theo thời gian');
legend('q8 - Ghế tài xế', 'q9 - Ghế hành khách', 'Location', 'best');
grid on;

% Phân tích phổ tần số
figure;
Fs = 1/0.01; % Tần số lấy mẫu (100 Hz)
N = length(accel_q8);
frequencies = (0:N/2-1)*(Fs/N);

% Biến đổi Fourier
fft_q8 = abs(fft(accel_q8))/N;
fft_q9 = abs(fft(accel_q9))/N;

% Vẽ phổ tần số
plot(frequencies, fft_q8(1:N/2), 'b', 'LineWidth', 1.5); hold on;
plot(frequencies, fft_q9(1:N/2), 'r', 'LineWidth', 1.5);
xlabel('Tần số (Hz)');
ylabel('Biên độ');
title('Phổ tần số của gia tốc q8 và q9');
legend('q8 - Ghế tài xế', 'q9 - Ghế hành khách', 'Location', 'best');
grid on;

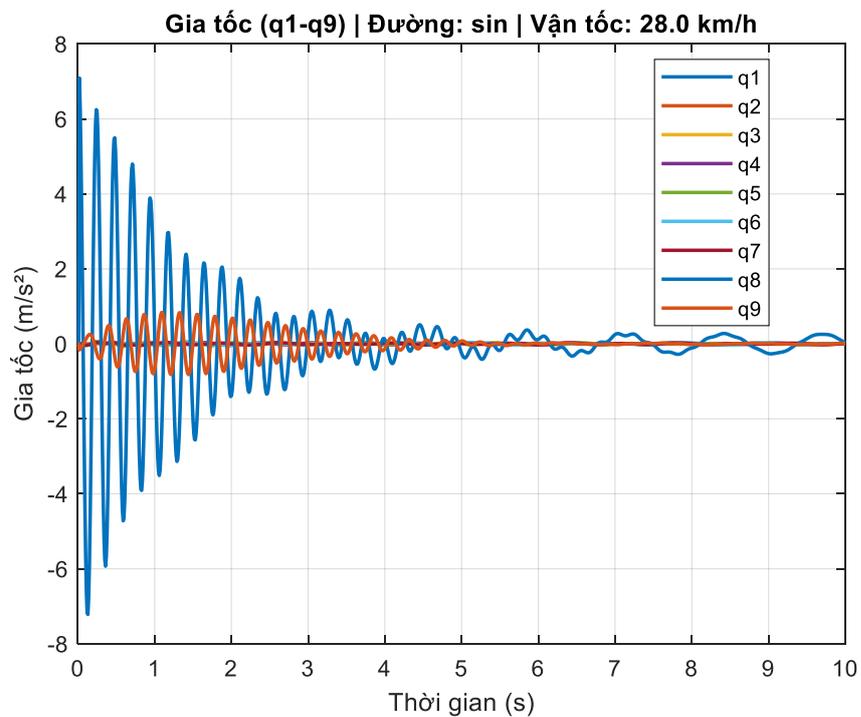
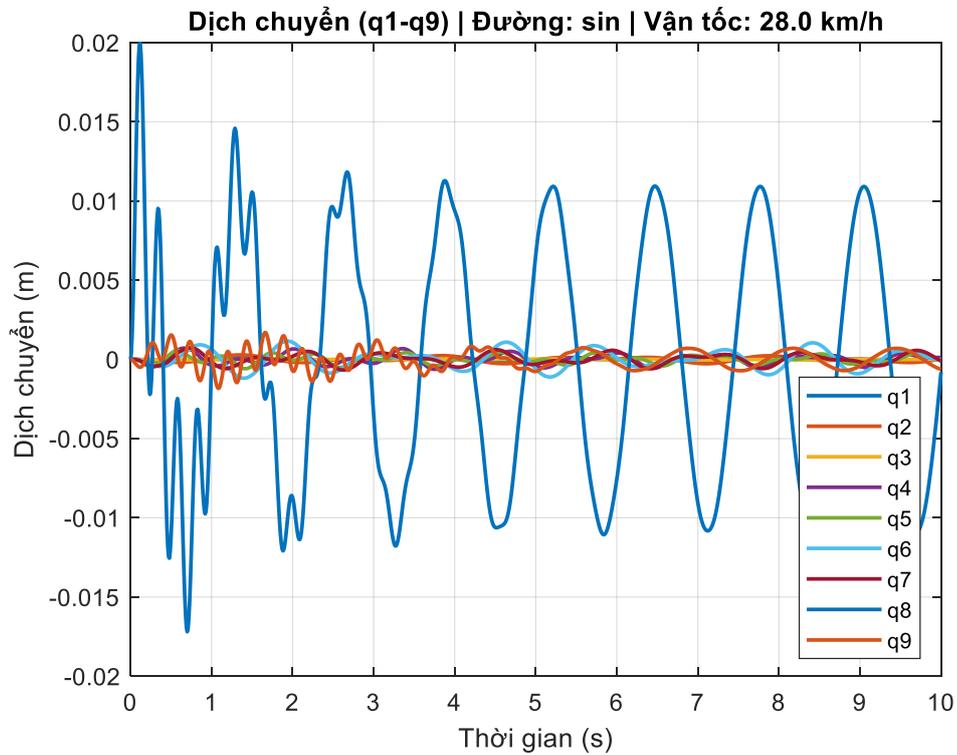
% Hiện thị kết quả đánh giá ISO 2631
fprintf('=== Đánh giá ISO 2631 ===\n');
fprintf('Ghế tài xế (q8): Gia tốc RMS = %.4f m/s^2, Mức độ dao động: %s\n',
rms_accel_q8, comfort_level_q8);
fprintf('Ghế hành khách (q9): Gia tốc RMS = %.4f m/s^2, Mức độ dao động:
%s\n', rms_accel_q9, comfort_level_q9);

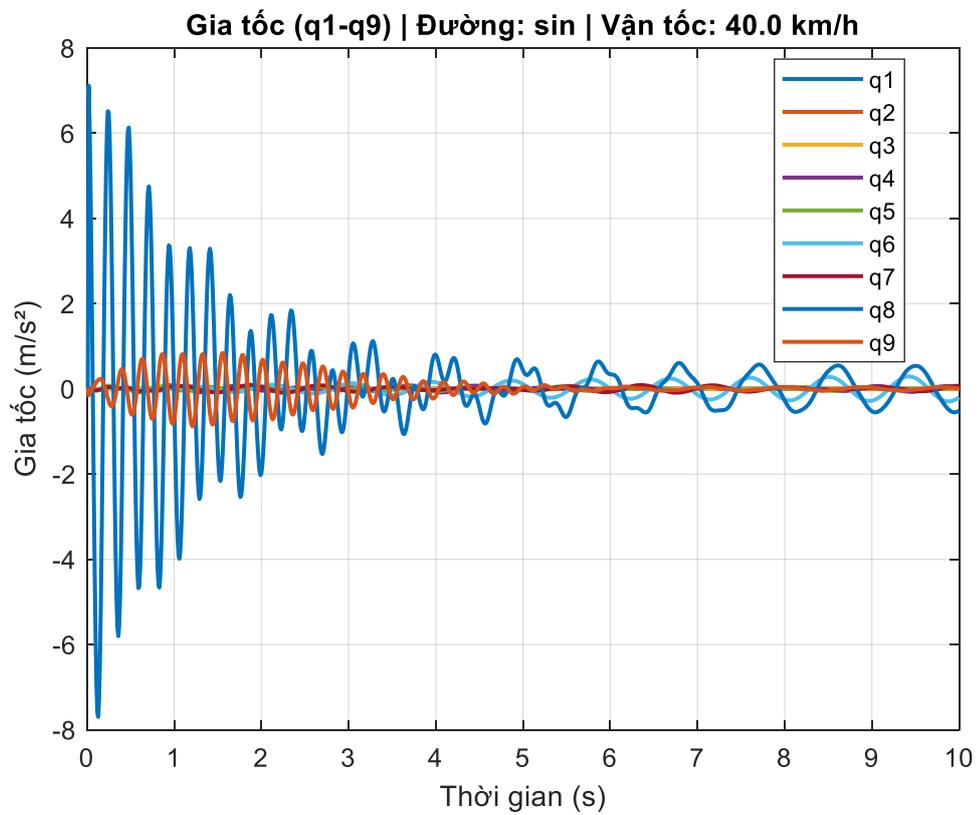
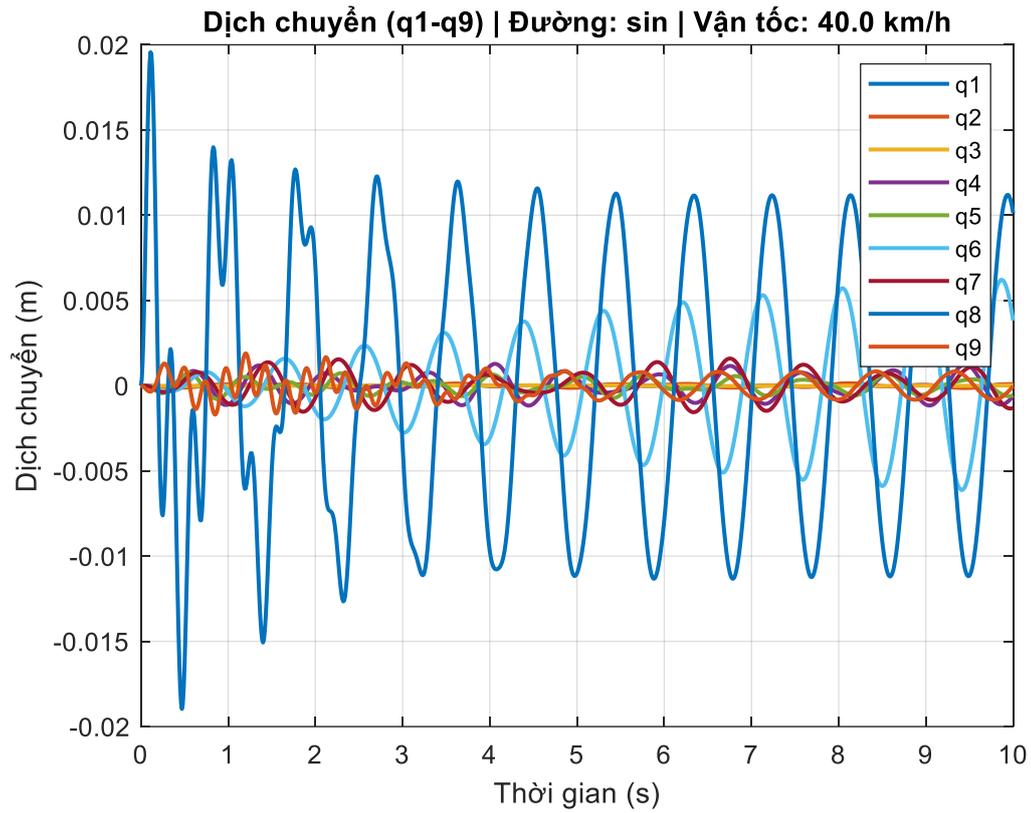
%% Hàm phân loại mức độ dao động theo ISO 2631
function comfort = classify_iso2631(rms_accel)

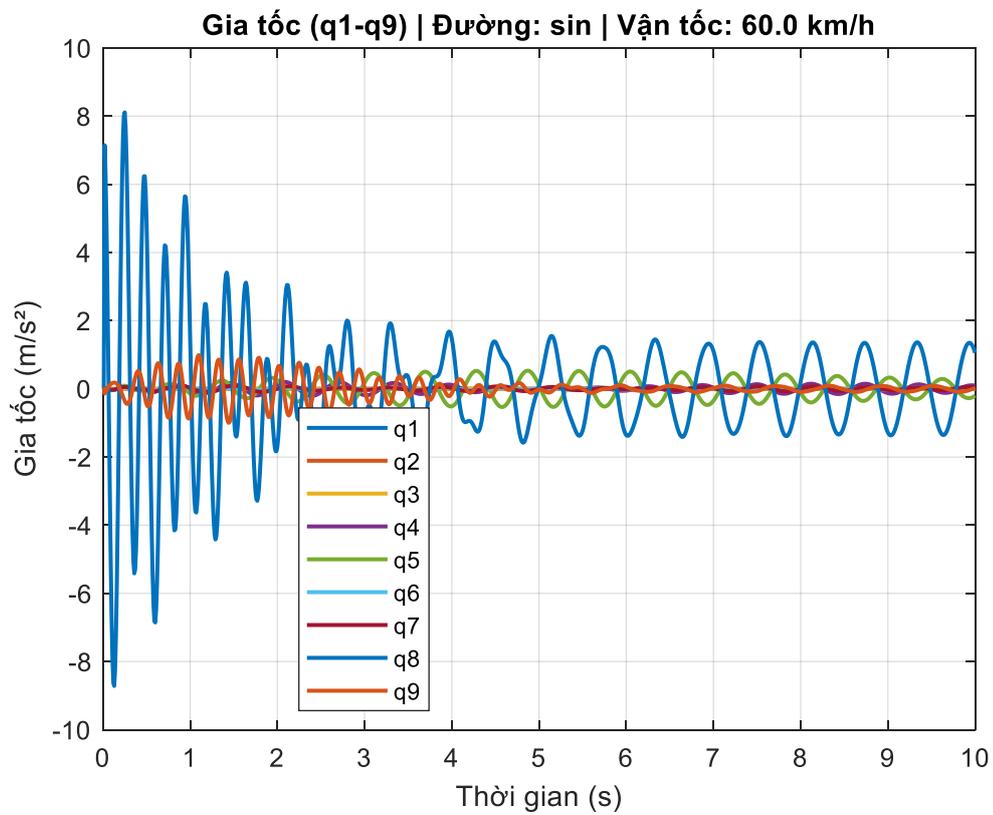
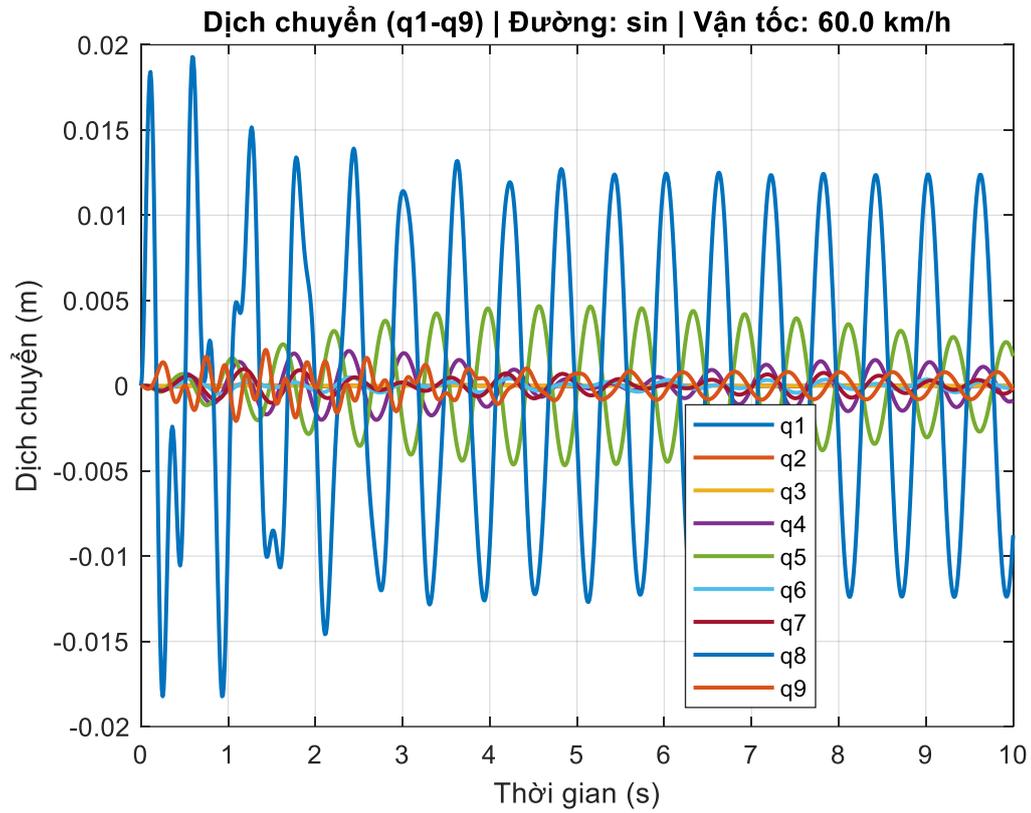
```

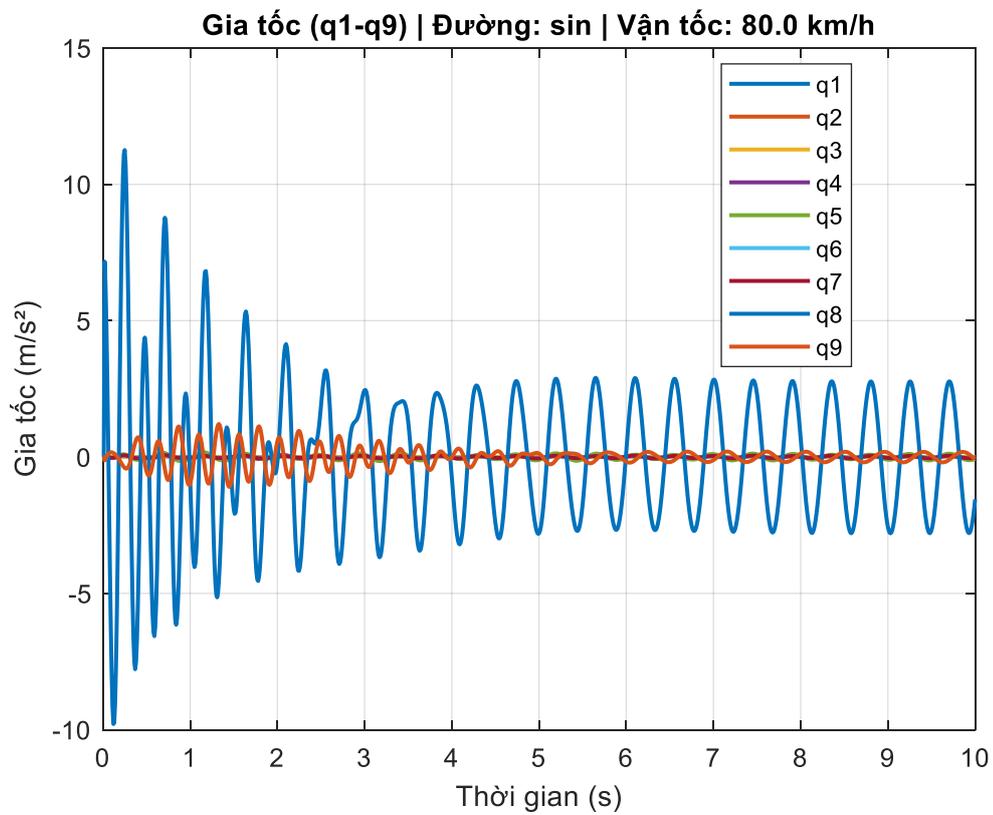
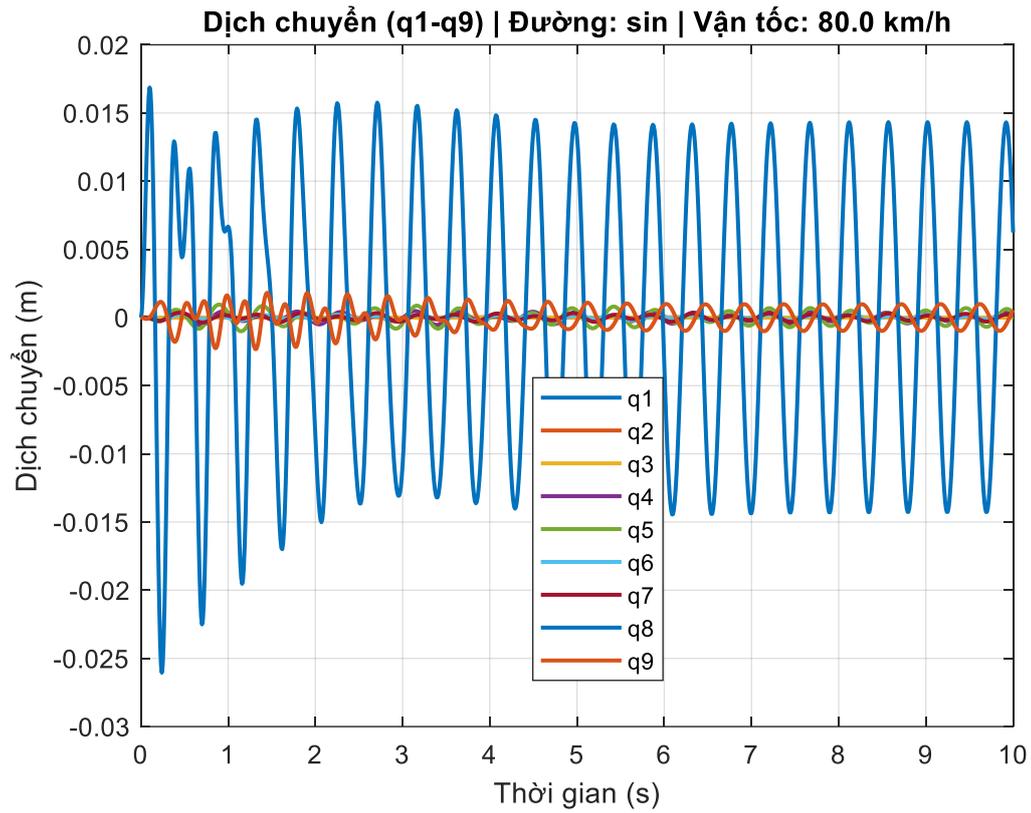
```
if rms_accel < 0.315
    comfort = 'Rất thoải mái';
elseif rms_accel < 0.63
    comfort = 'Thoải mái';
elseif rms_accel < 1.0
    comfort = 'Hơi thoải mái';
elseif rms_accel < 1.6
    comfort = 'Hơi không thoải mái';
elseif rms_accel < 2.5
    comfort = 'Không thoải mái';
else
    comfort = 'Rất không thoải mái';
end
end
```

PHỤ LỤC 3.2
CÁC ĐỒ THỊ KẾT QUẢ MÔ PHỎNG DAO ĐỘNG XE KHÁCH 29
CHỖ MÁP MÔ HÌNH SIN

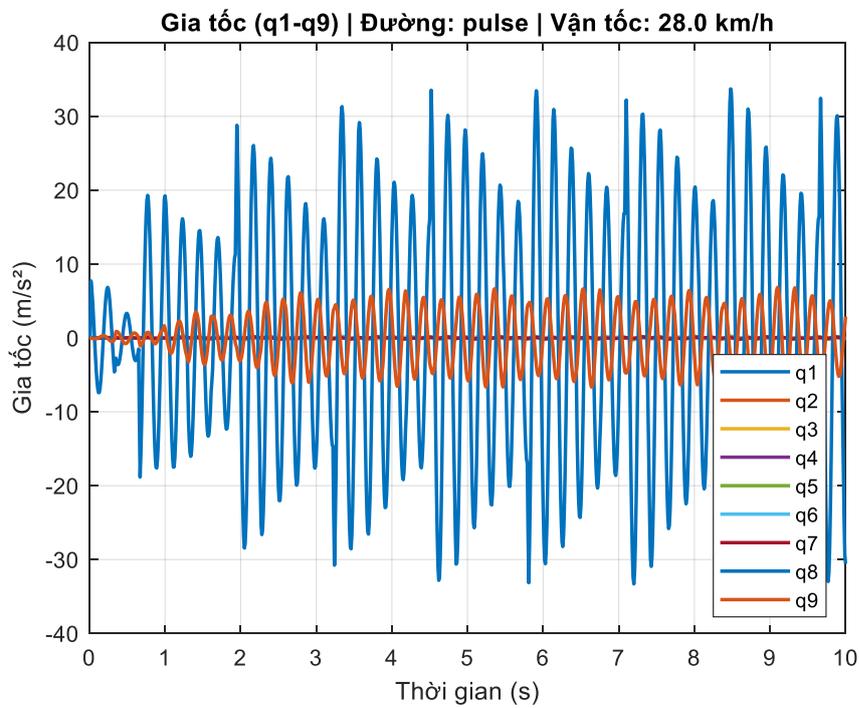
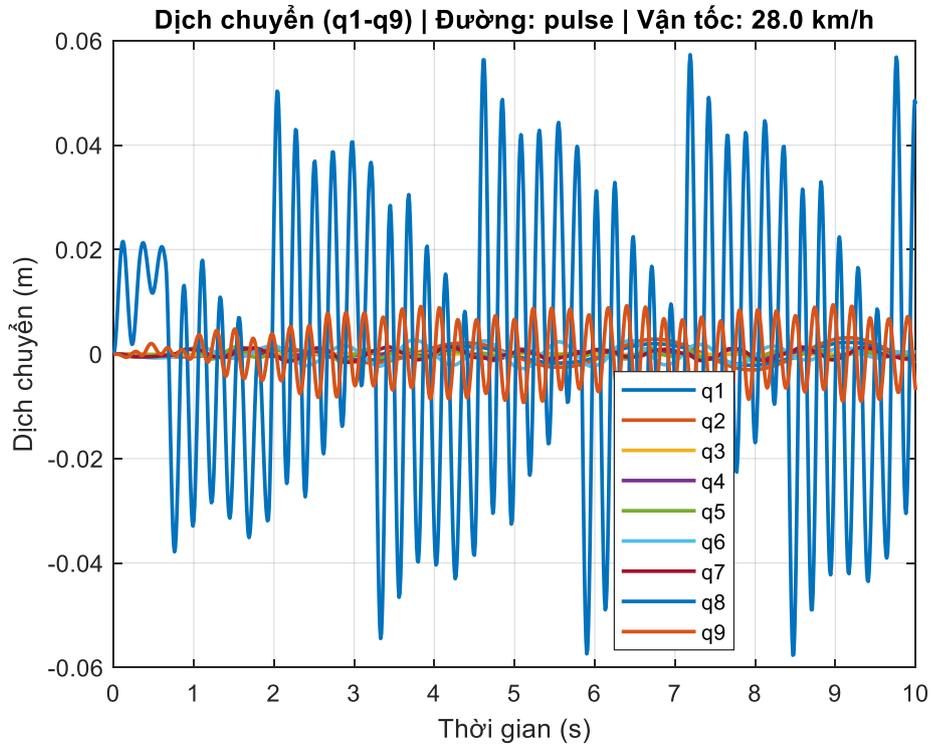


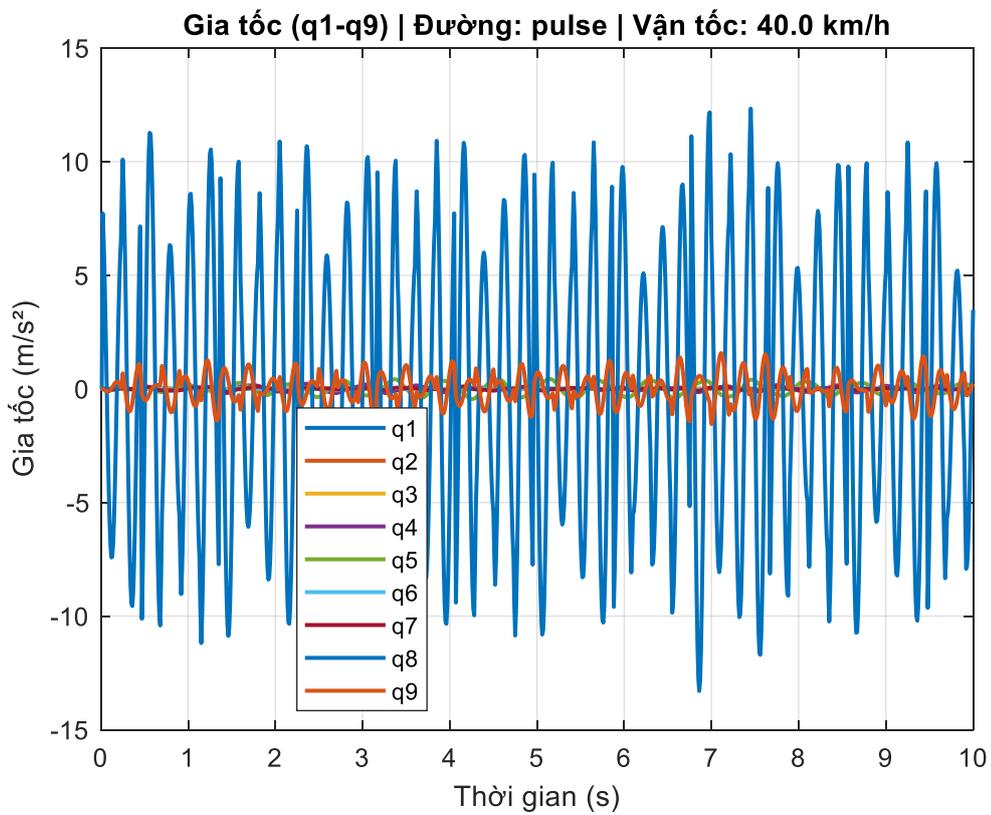
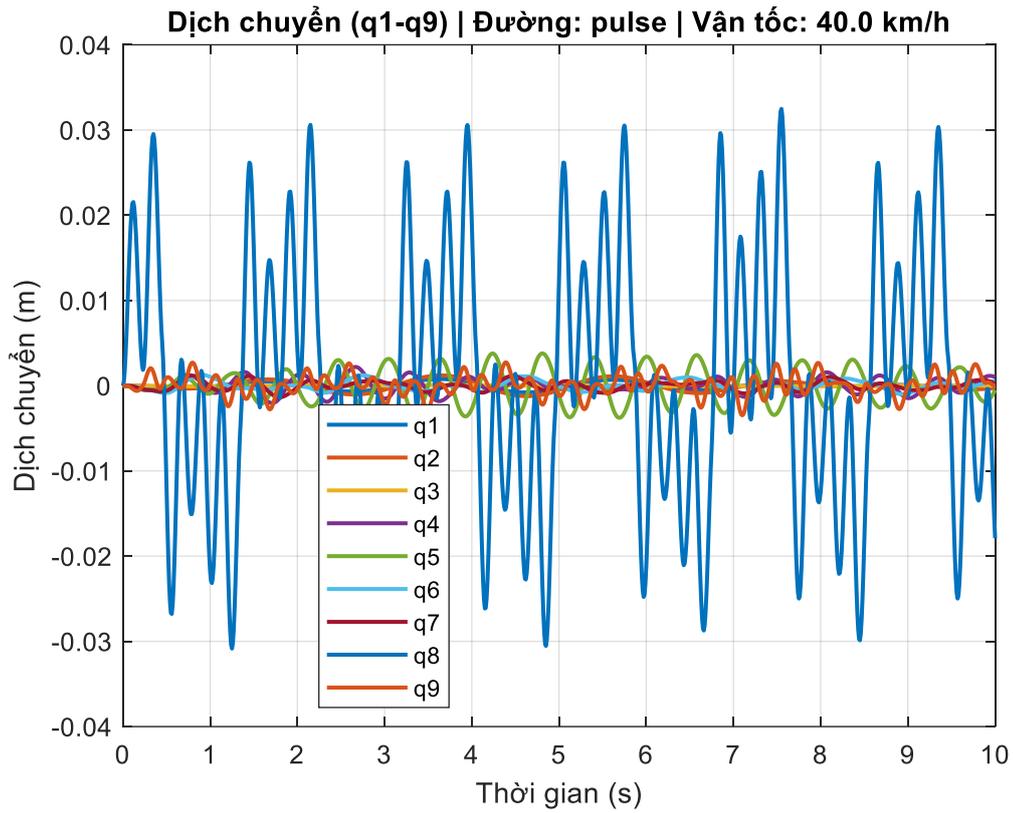


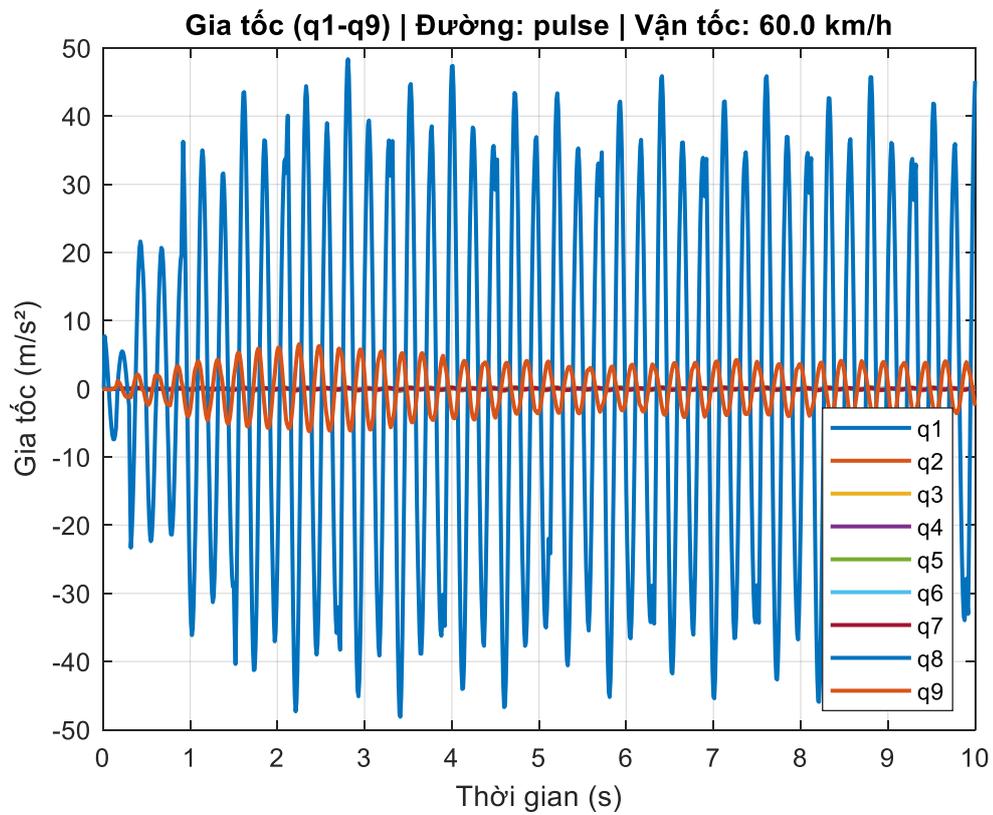
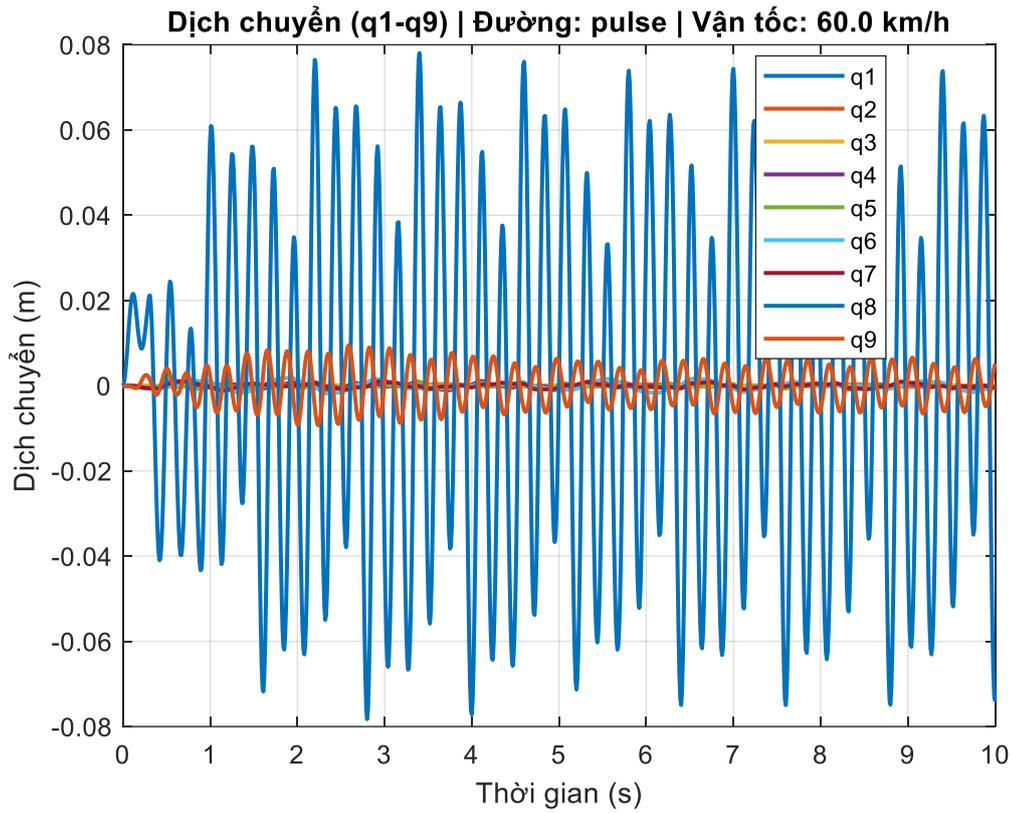


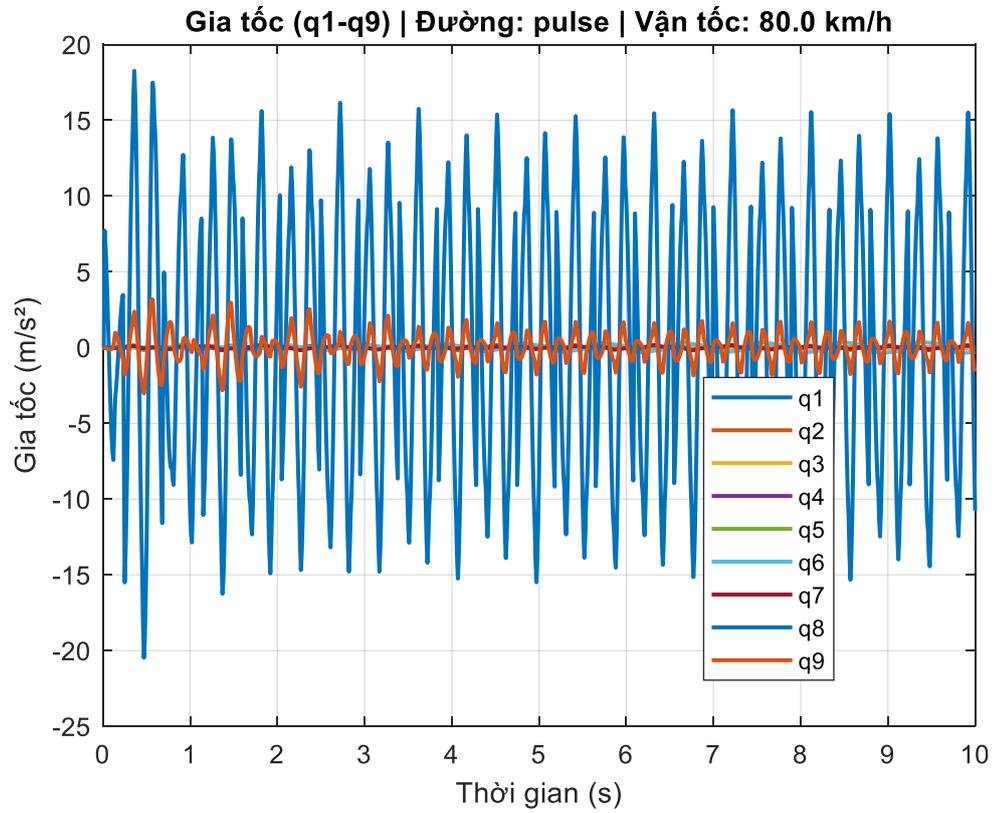
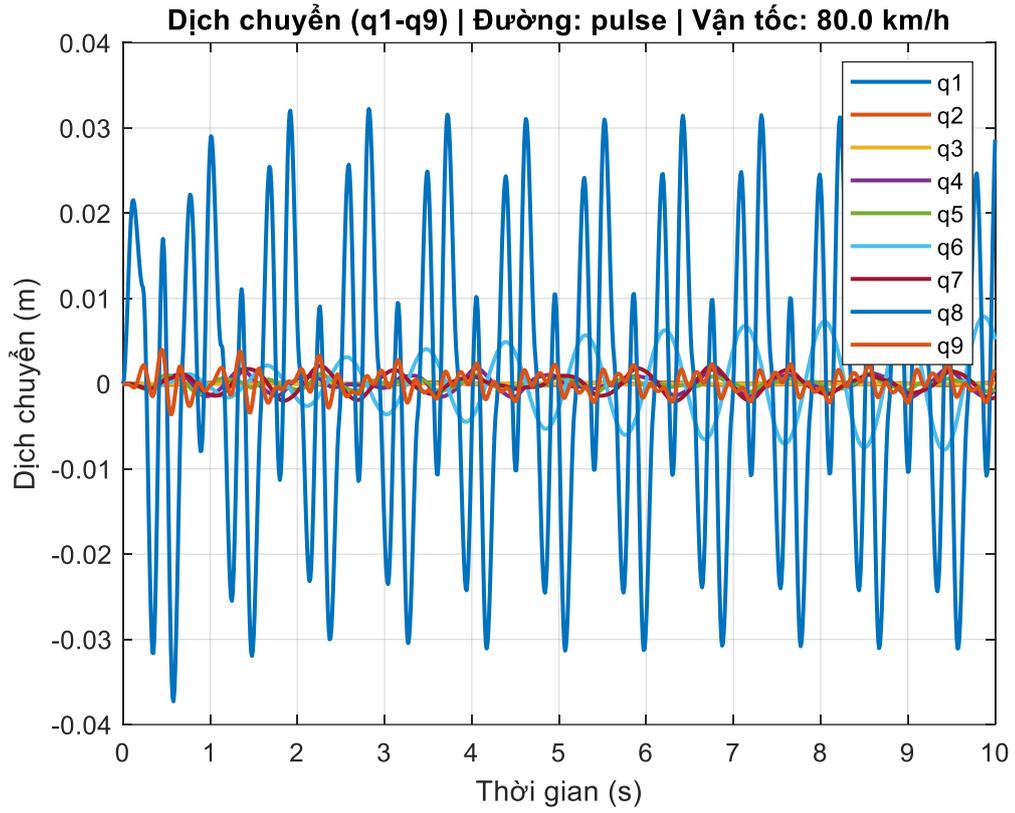


PHỤ LỤC 3.3
CÁC ĐỒ THỊ KẾT QUẢ MÔ PHỎNG DAO ĐỘNG XE KHÁCH 29
CHỖ MẤP MÔ XUNG

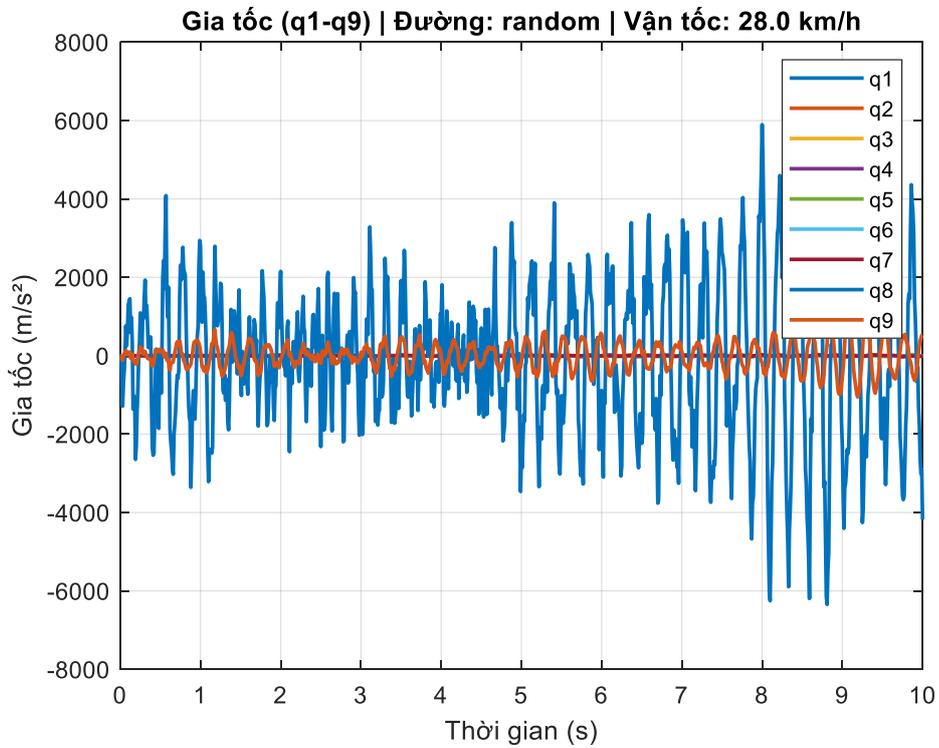
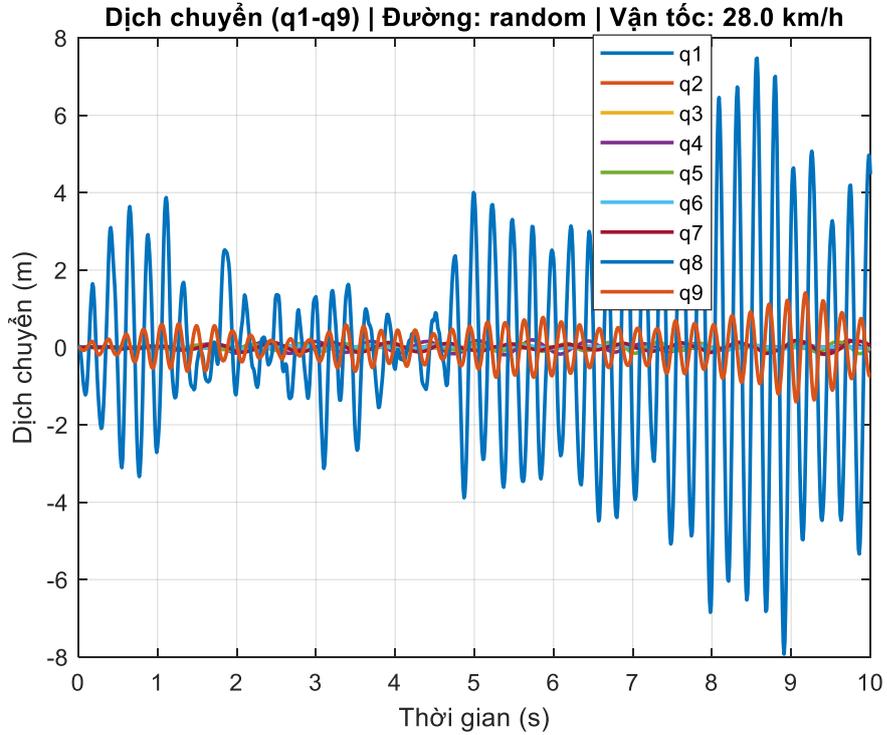


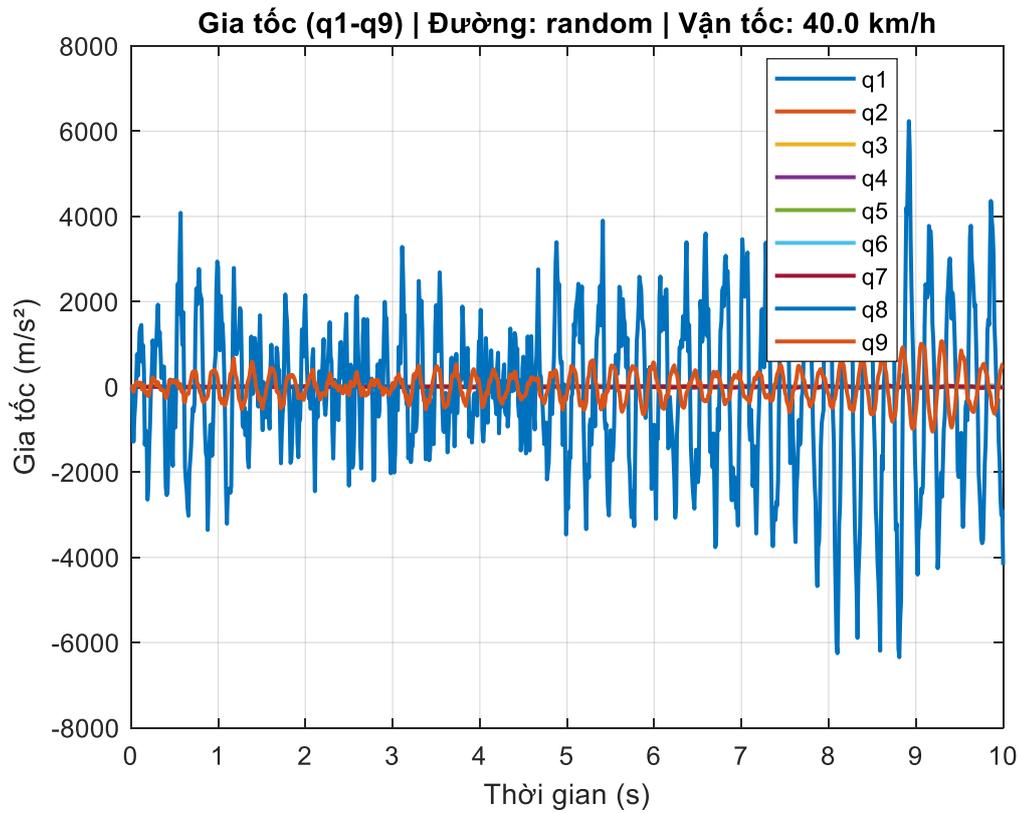
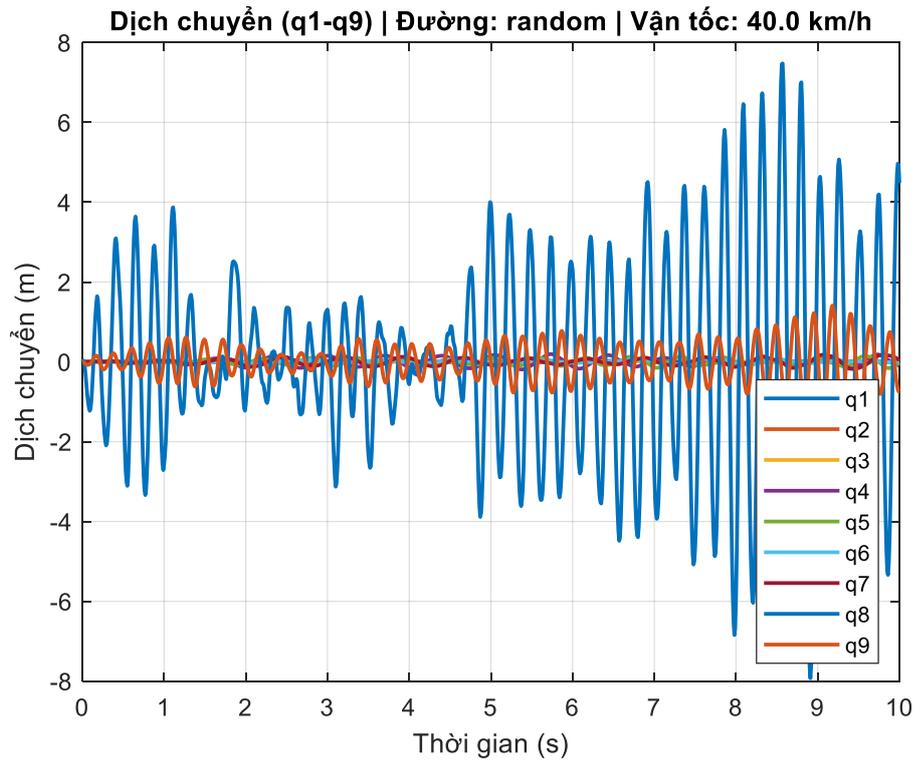


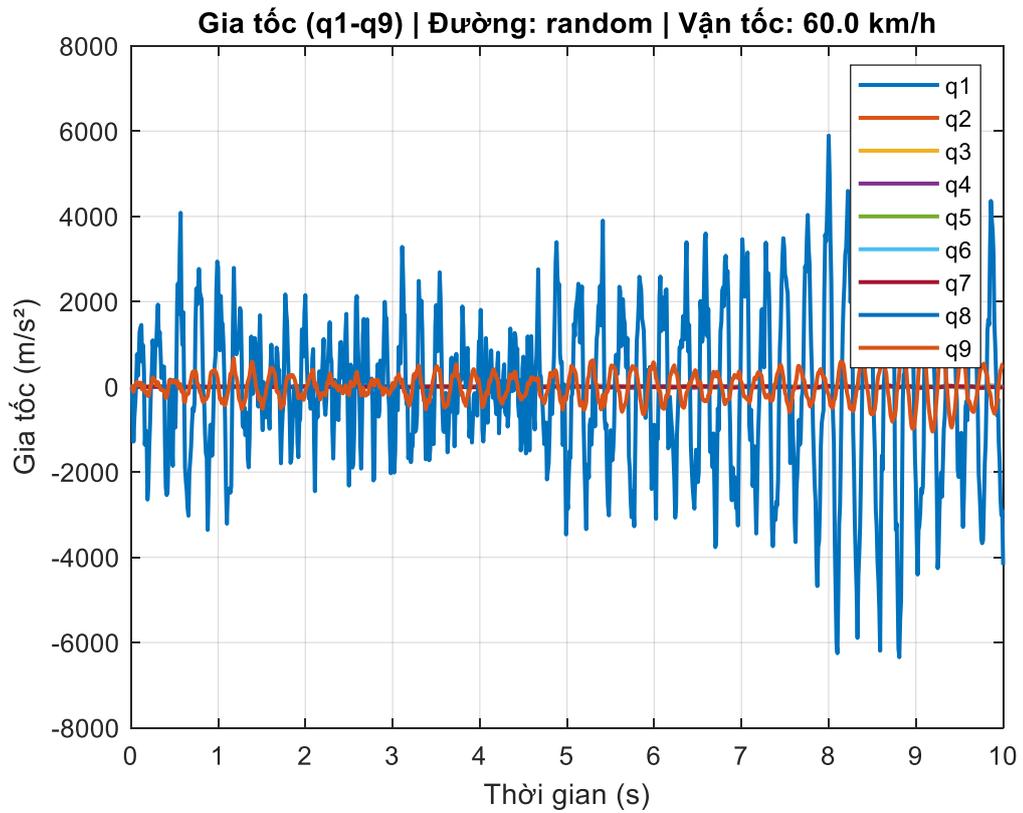
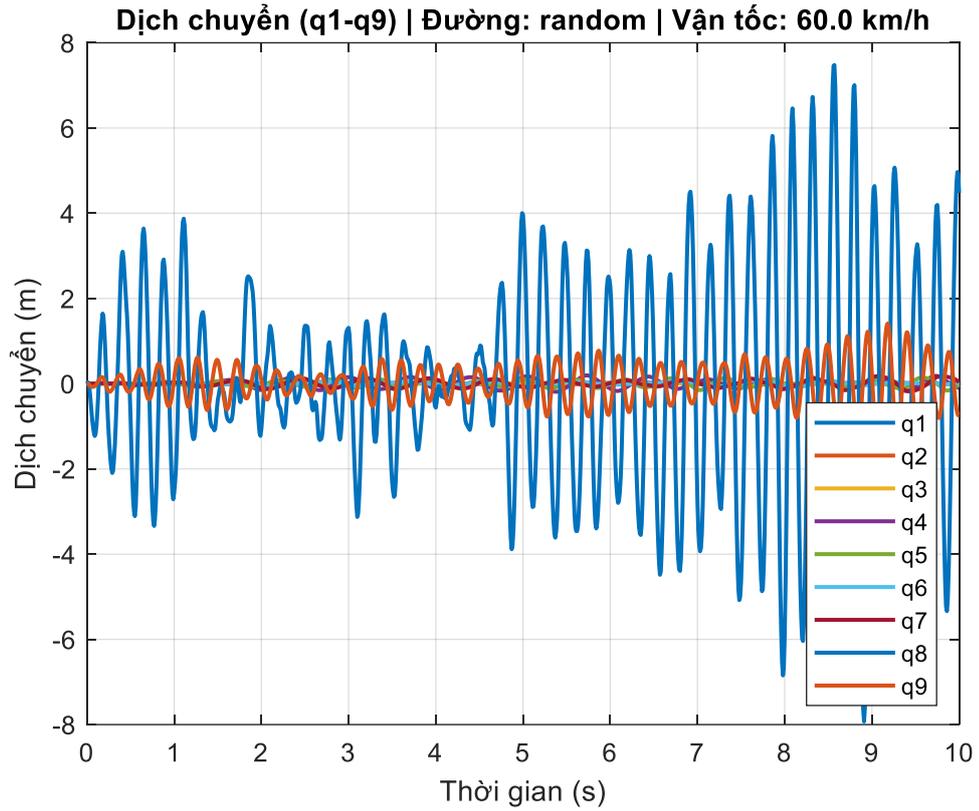


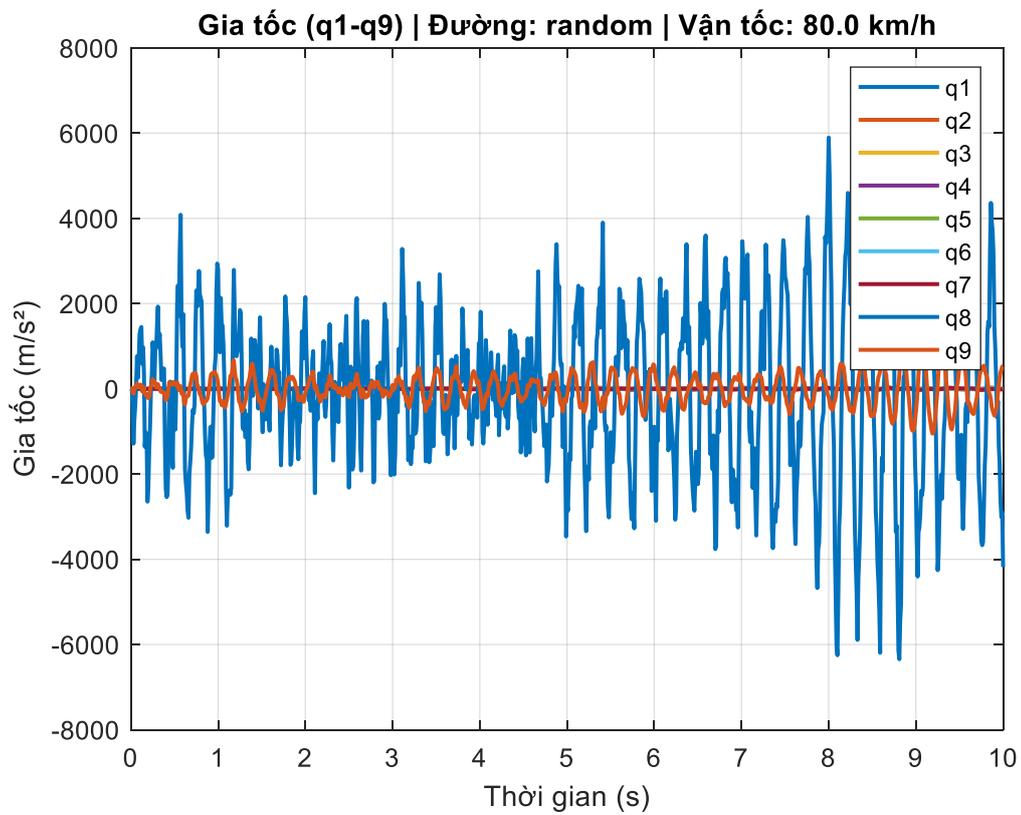
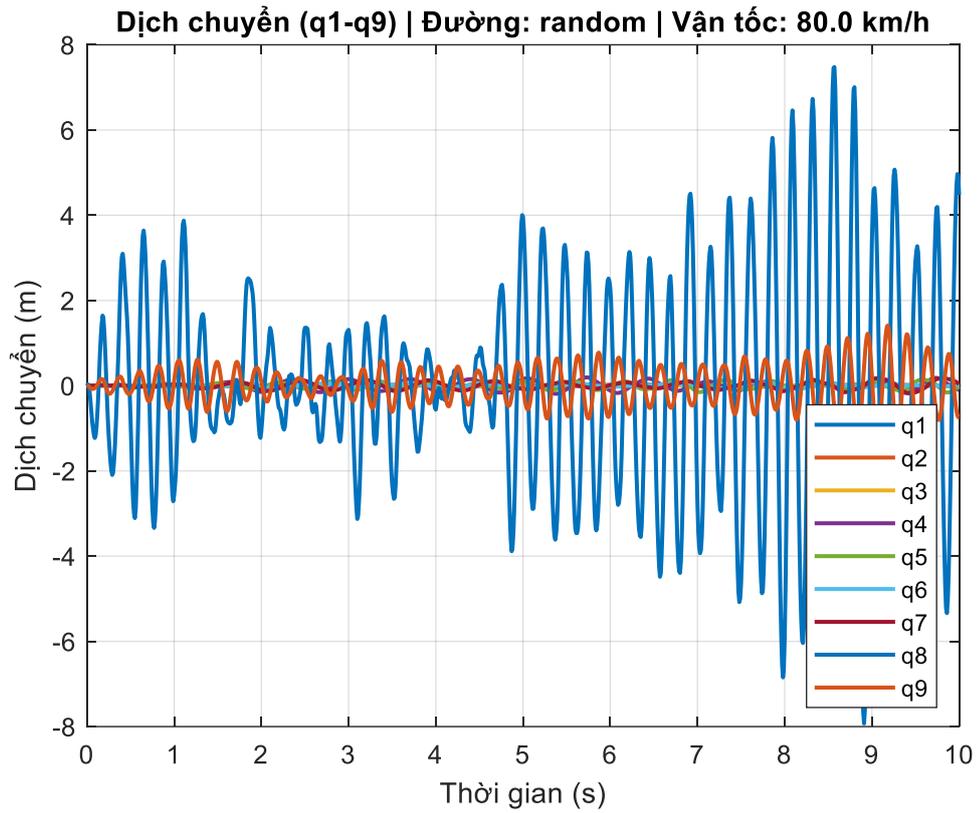


PHỤ LỤC 3.4
CÁC ĐỒ THỊ KẾT QUẢ MÔ PHỎNG DAO ĐỘNG XE KHÁCH 29
CHỖ MÁP MÔ NGẪU NHIÊN

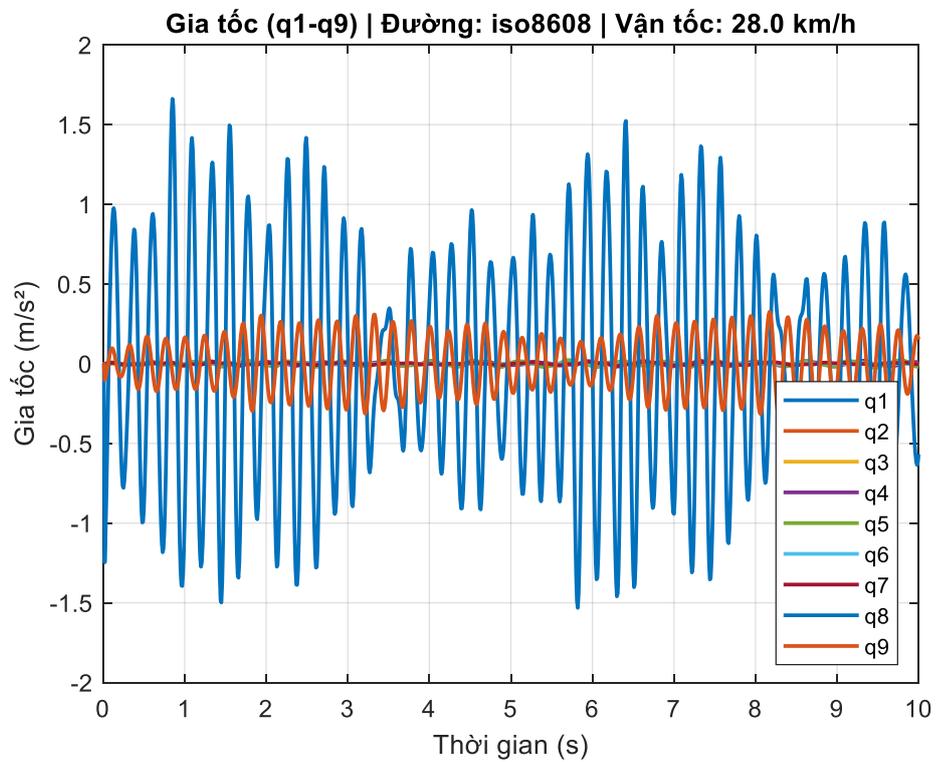
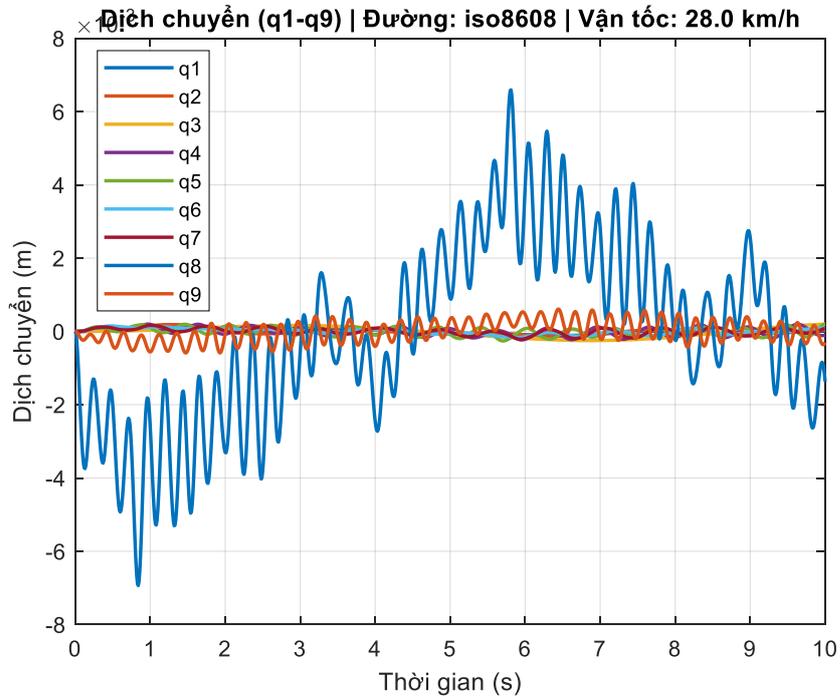


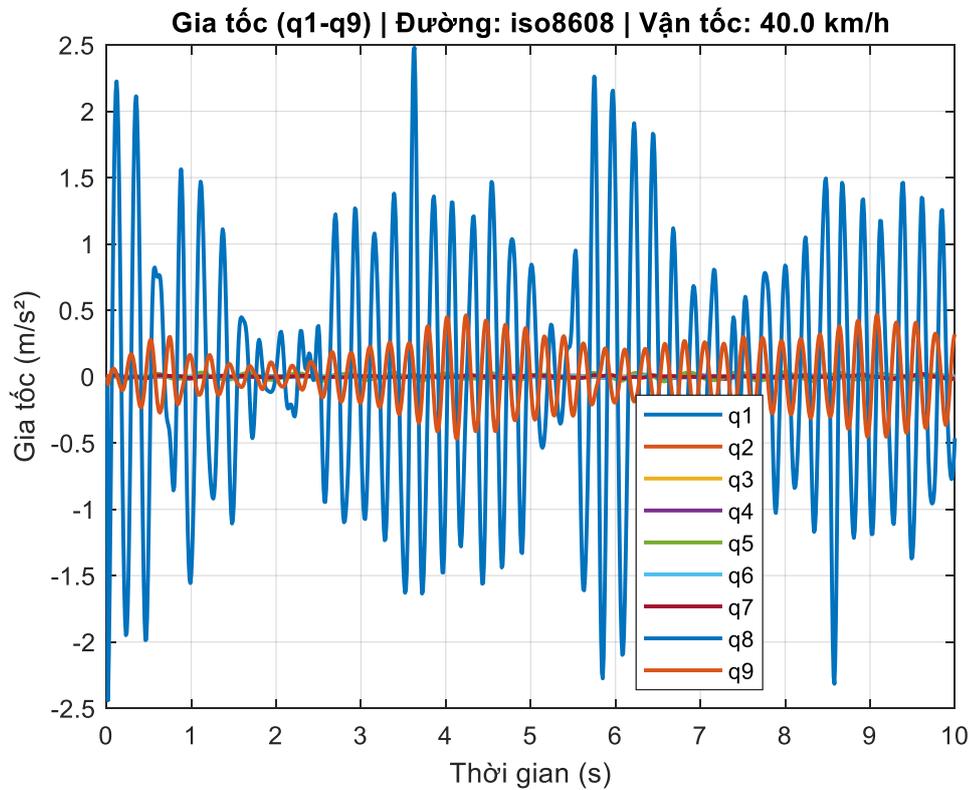
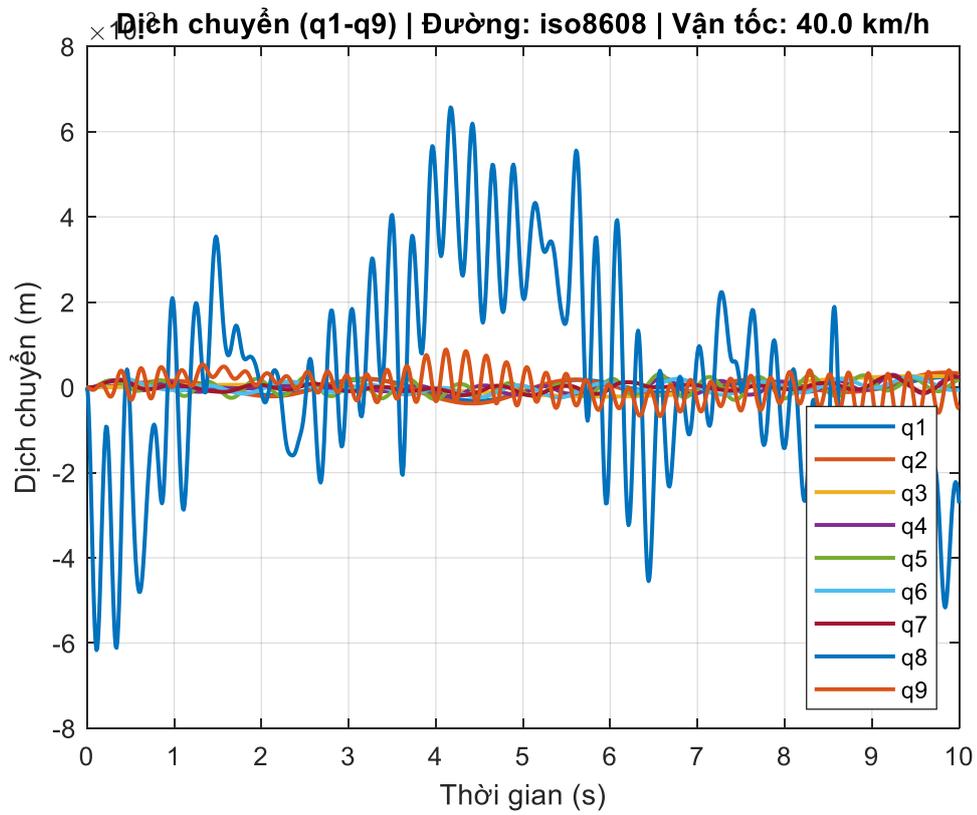


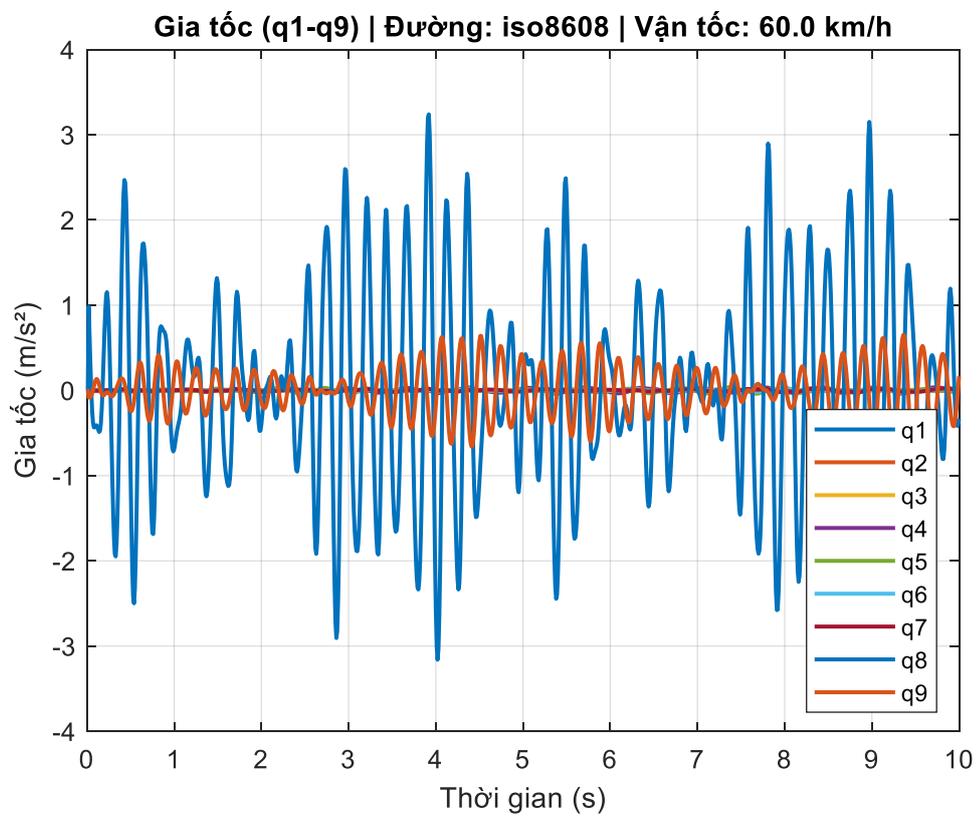
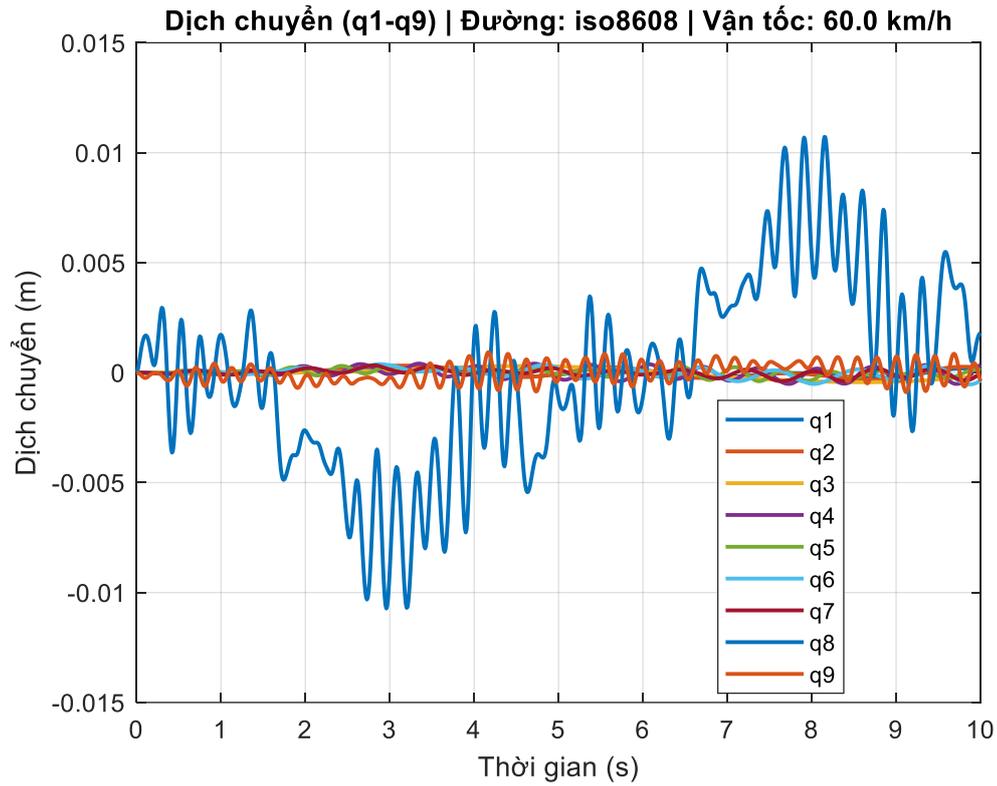


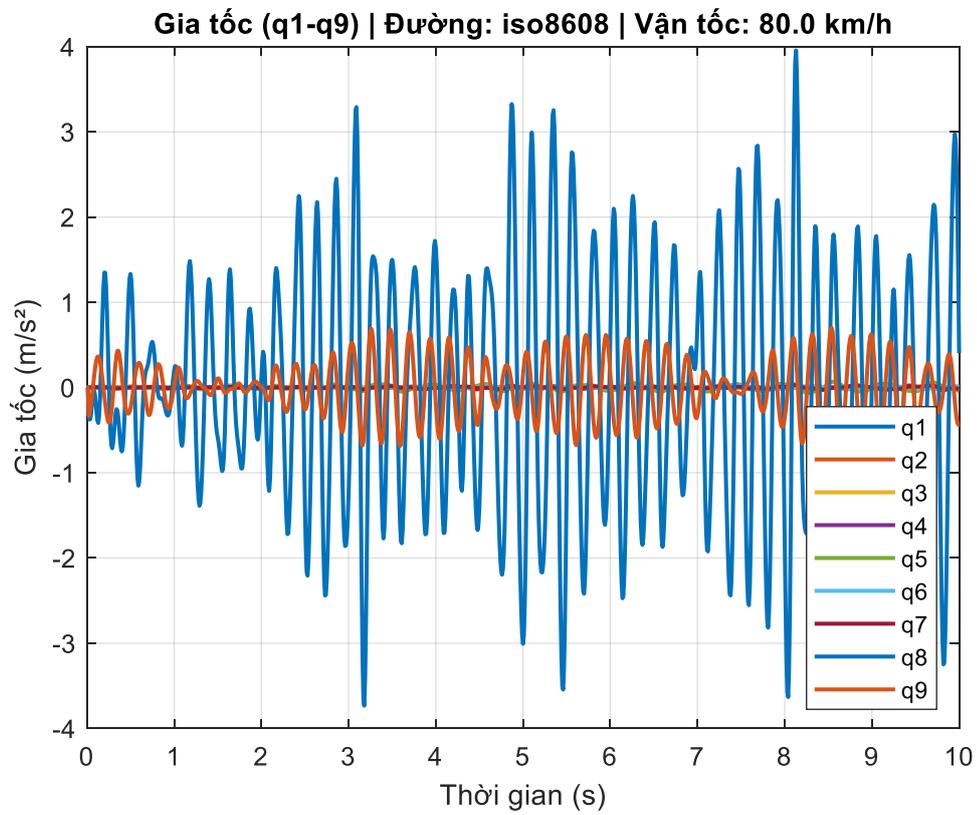
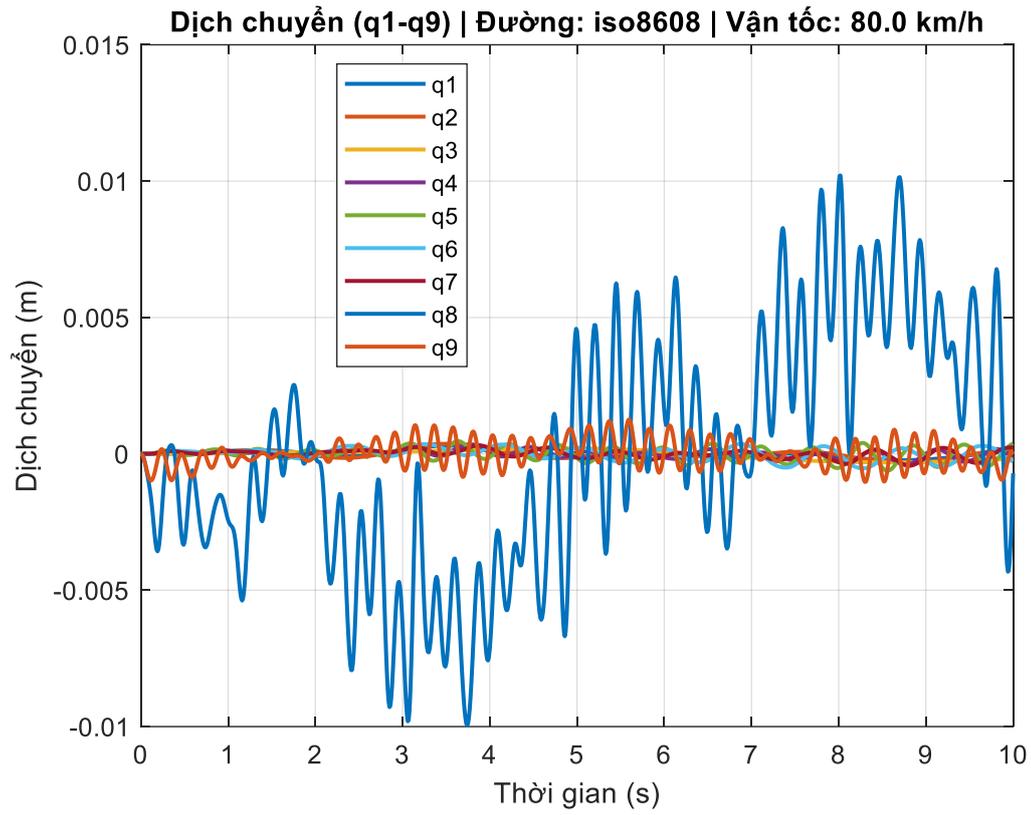


PHỤ LỤC 3.5
CÁC ĐỒ THỊ KẾT QUẢ MÔ PHỎNG DAO ĐỘNG XE KHÁCH 29
CHỖ MẮP MÔ ISO 8608



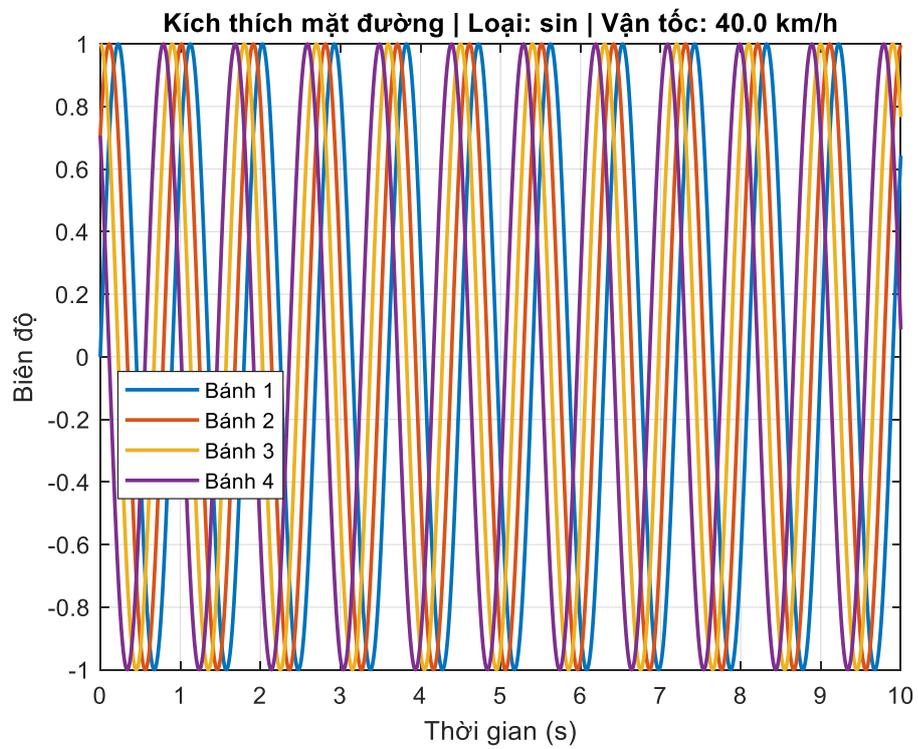
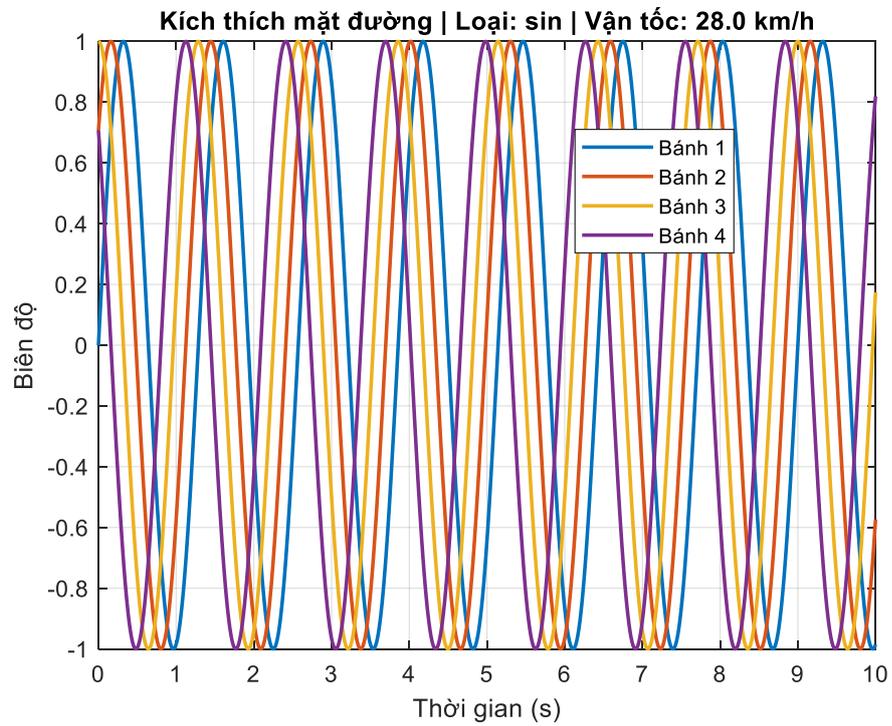


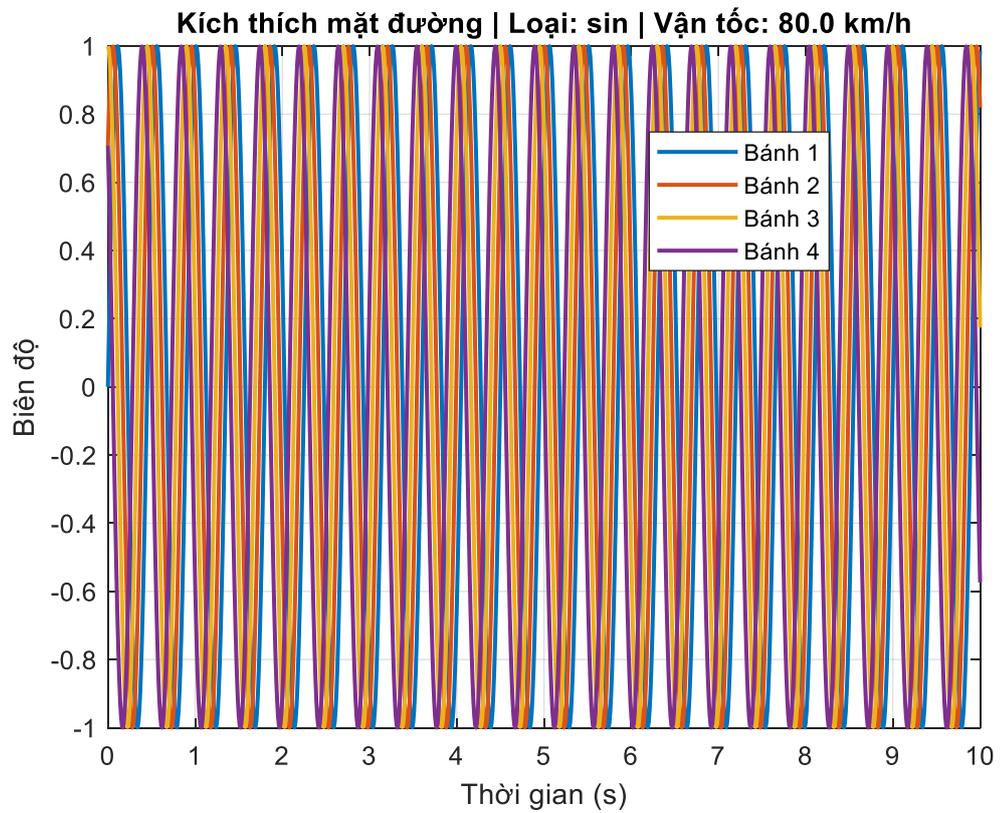
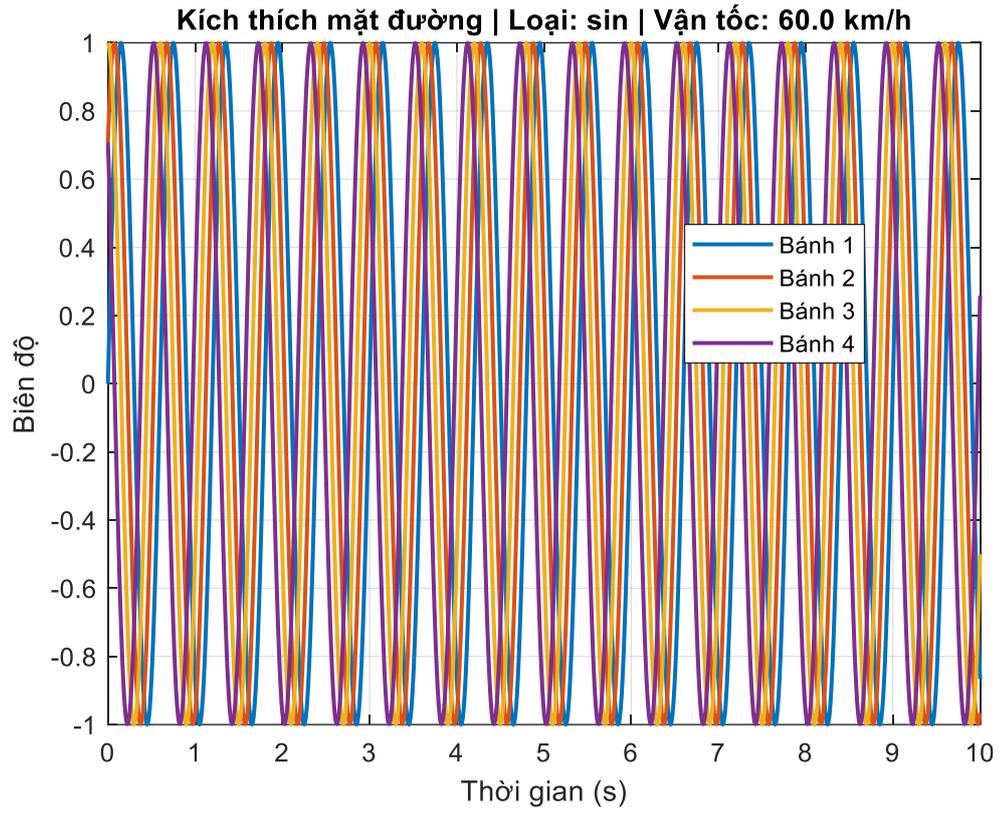


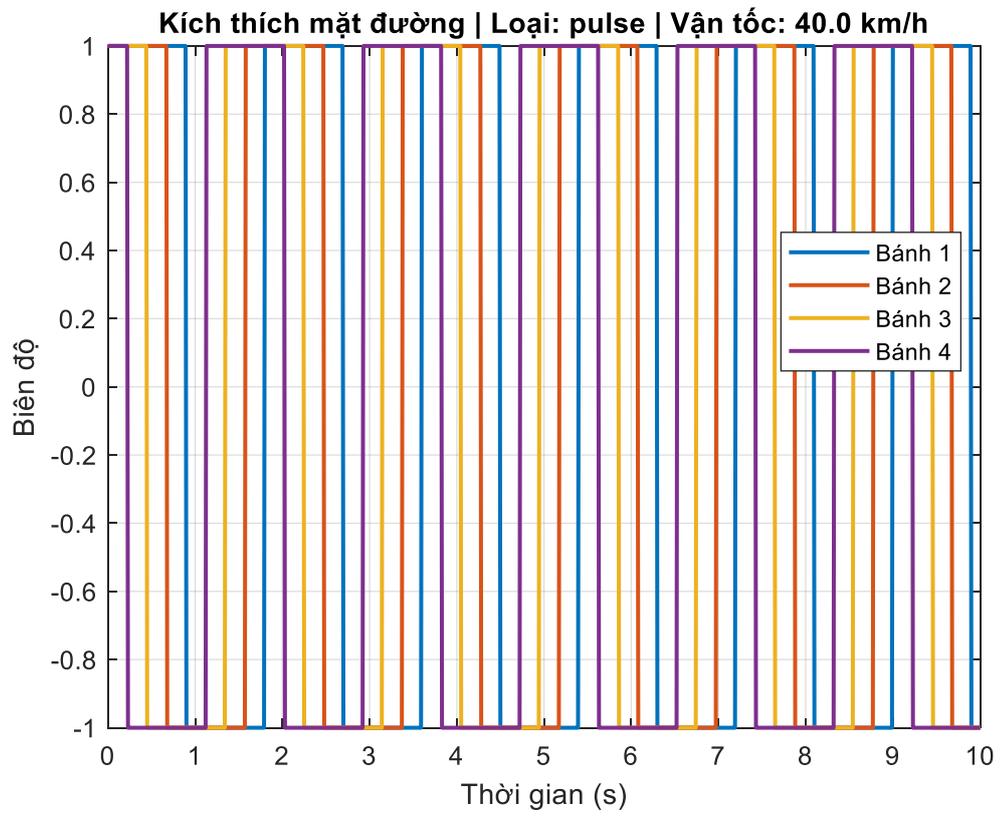
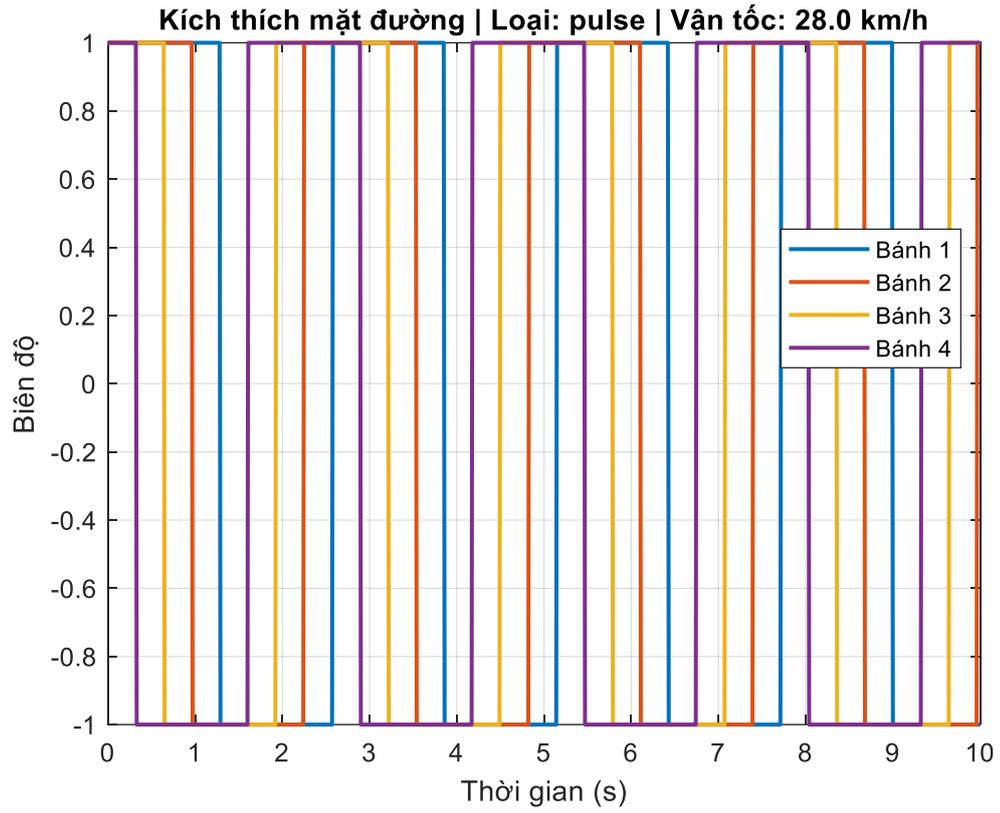


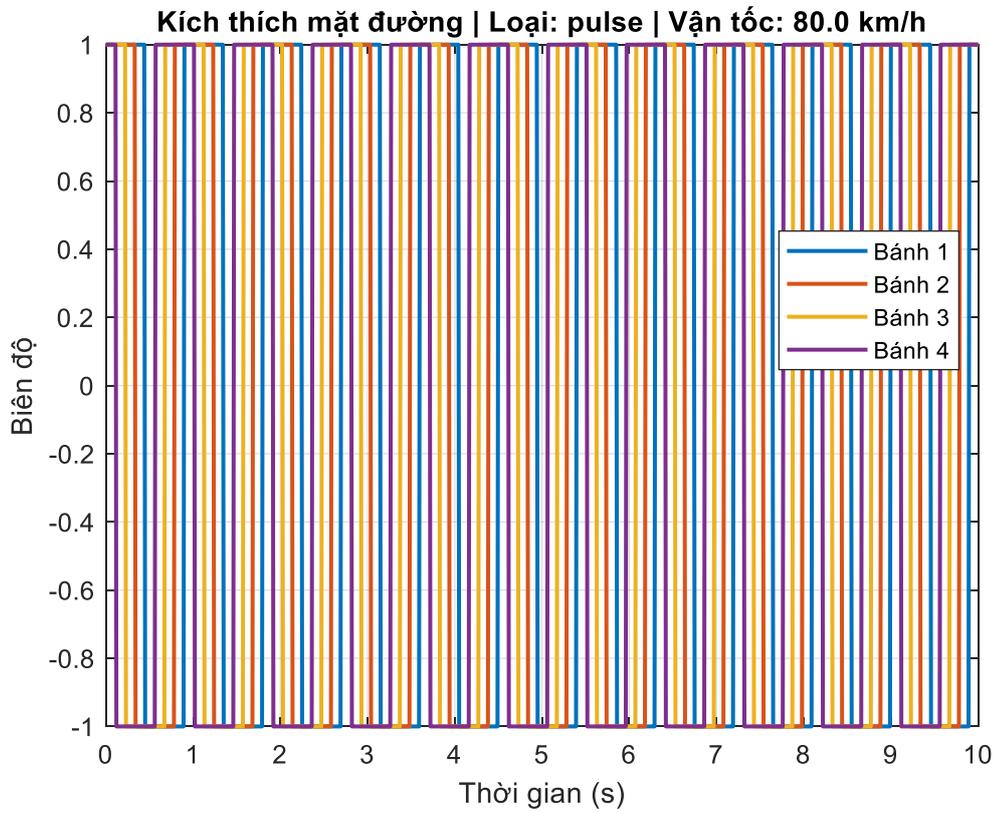
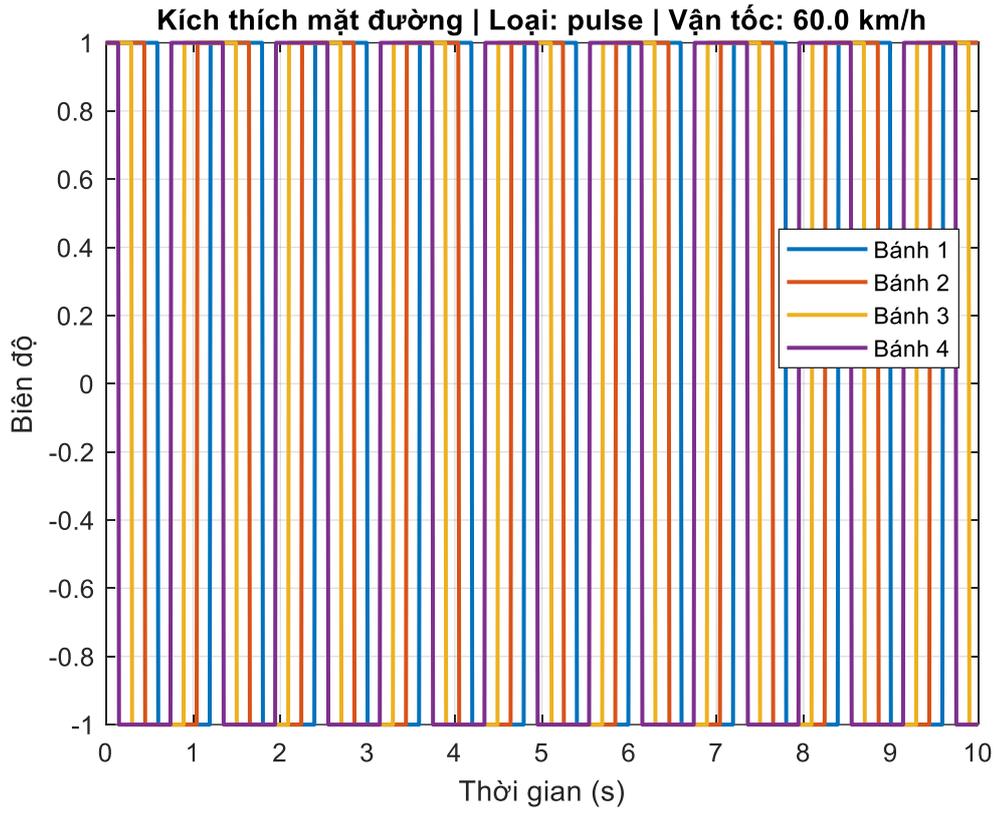
PHỤ LỤC 3.6

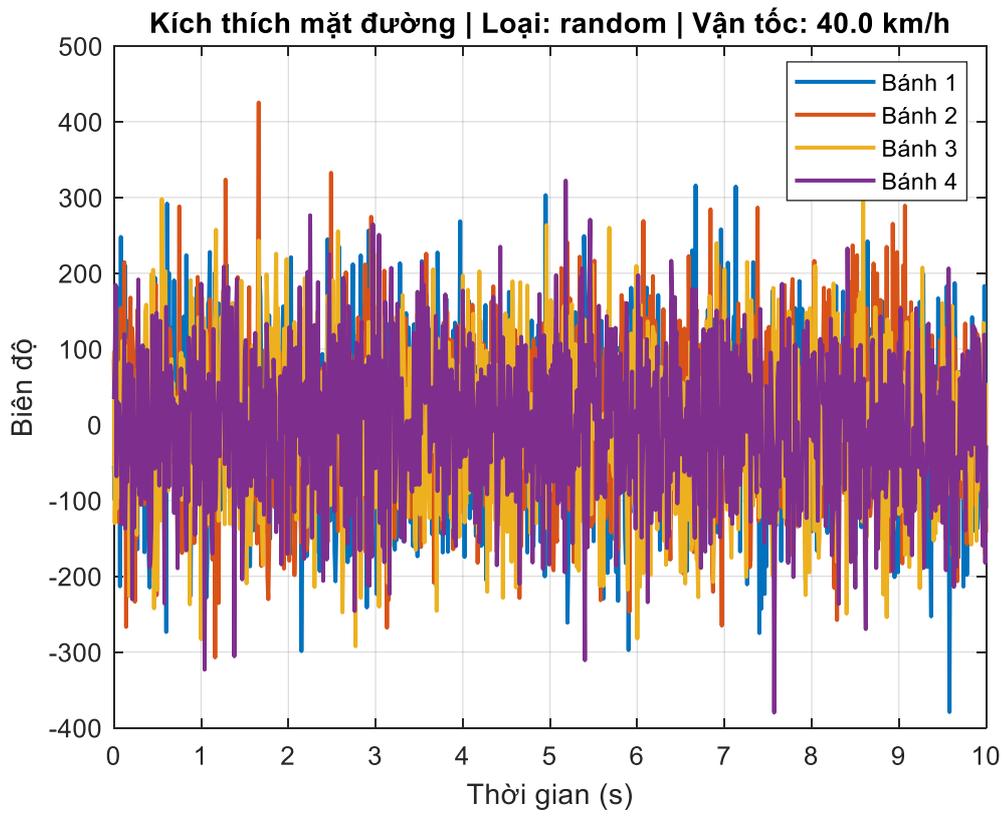
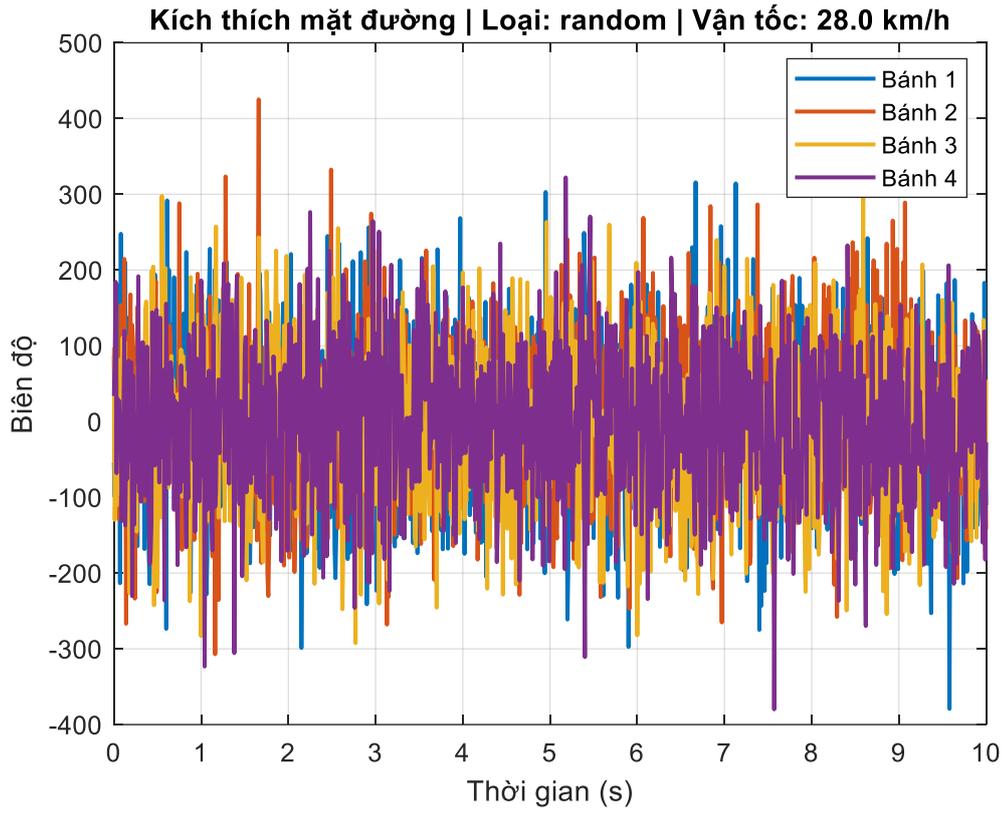
ĐỒ THỊ MÔ PHỎNG CÁC LOẠI MẶT ĐƯỜNG

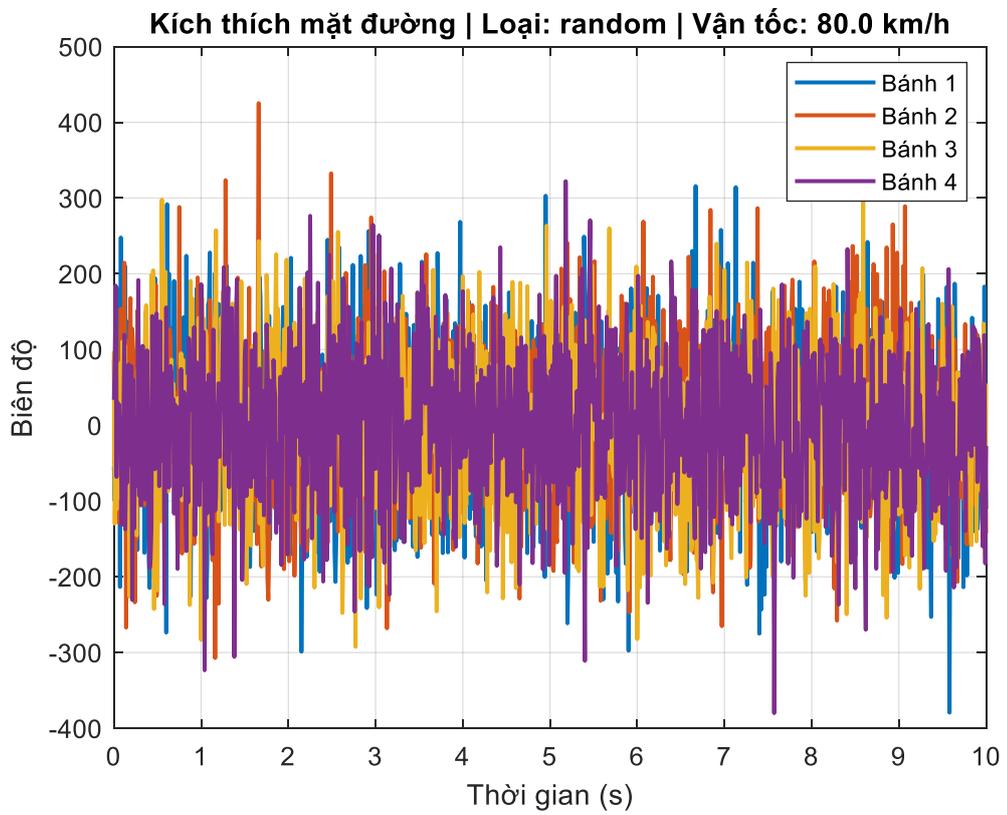
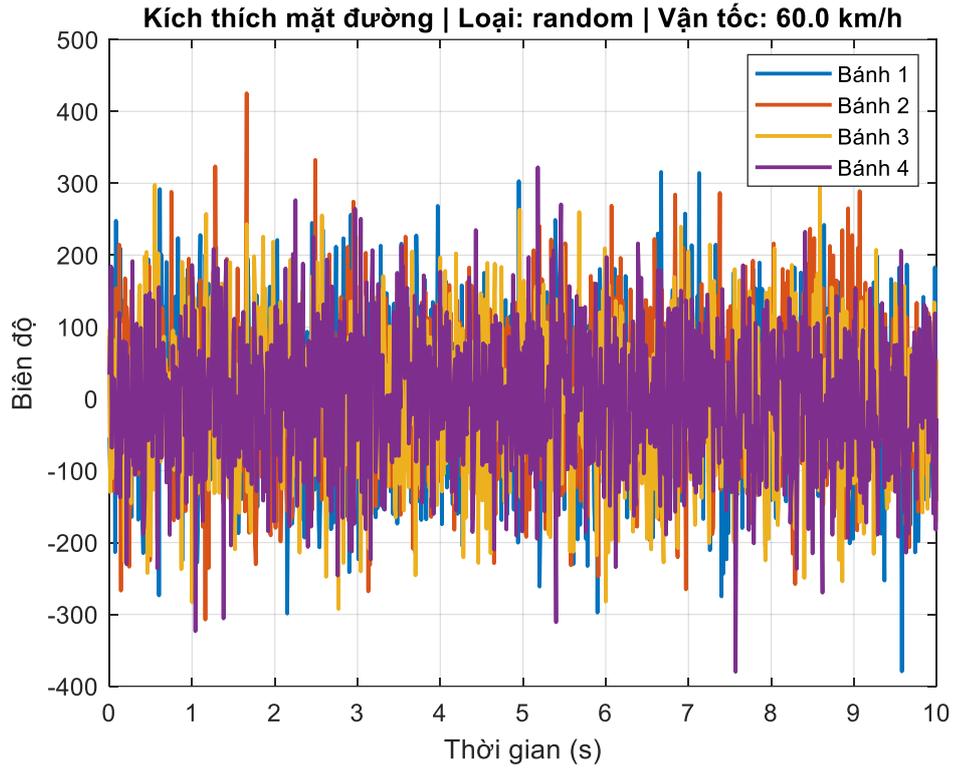


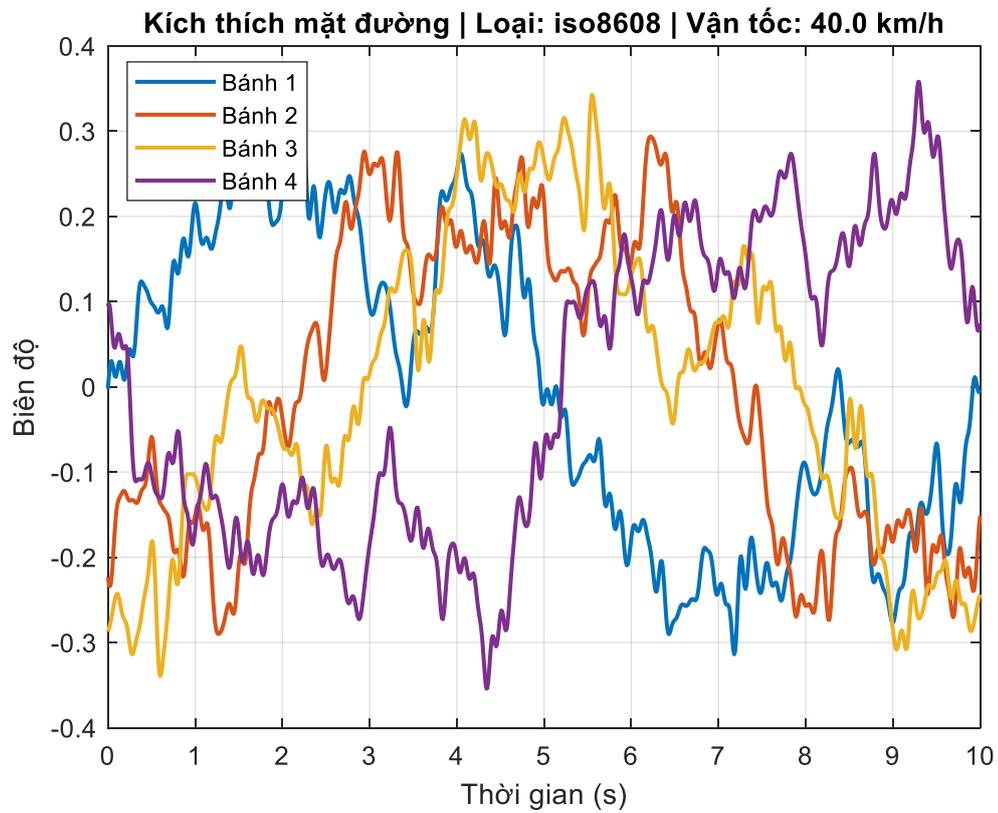
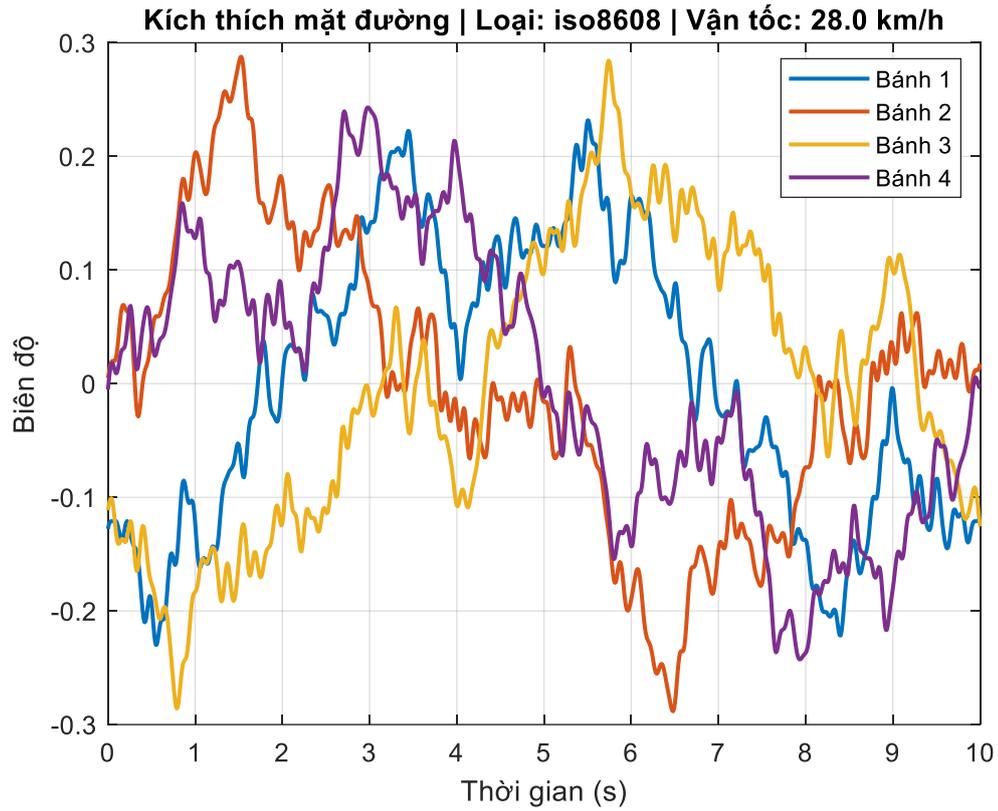


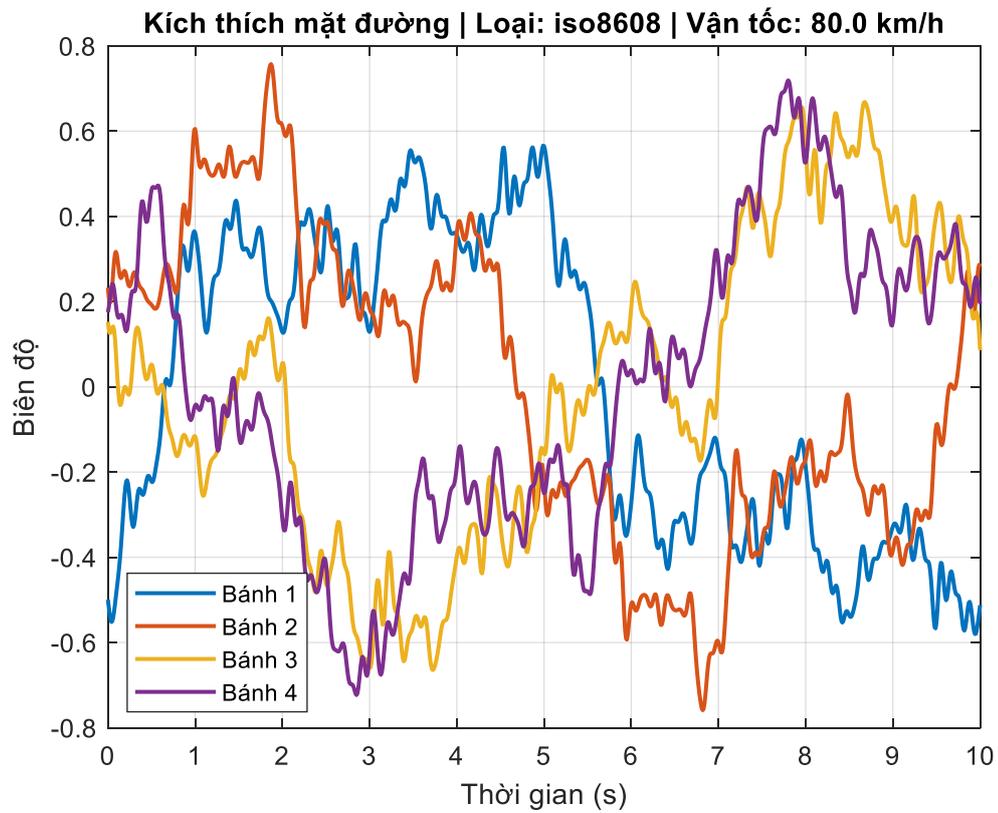
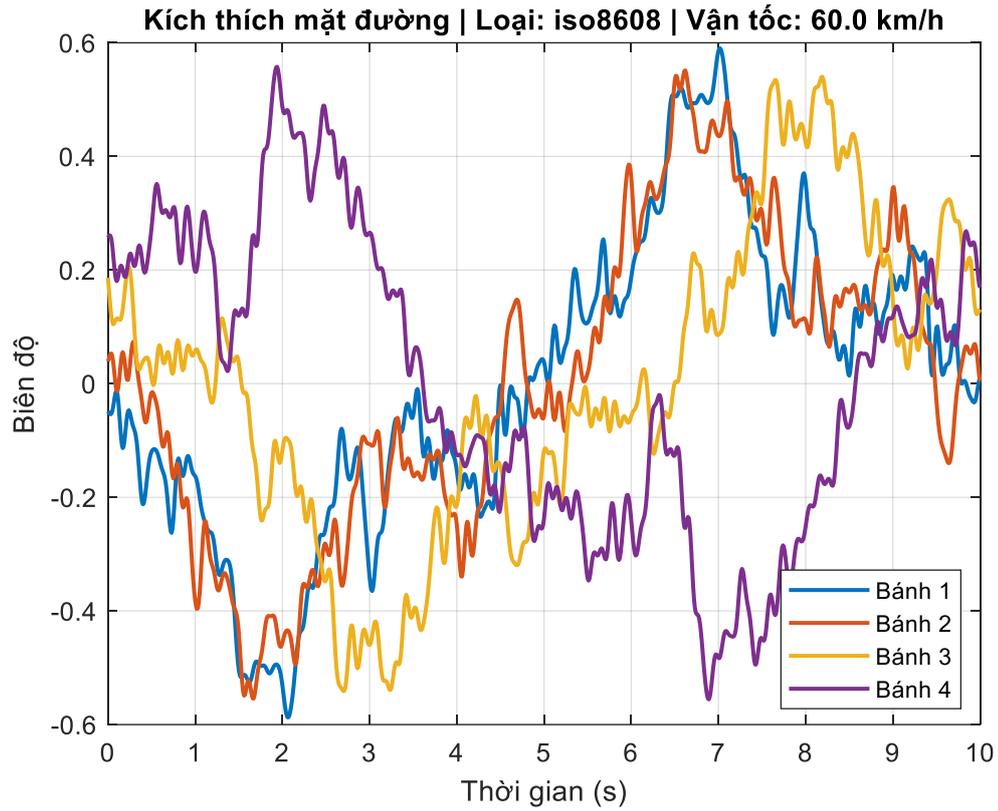






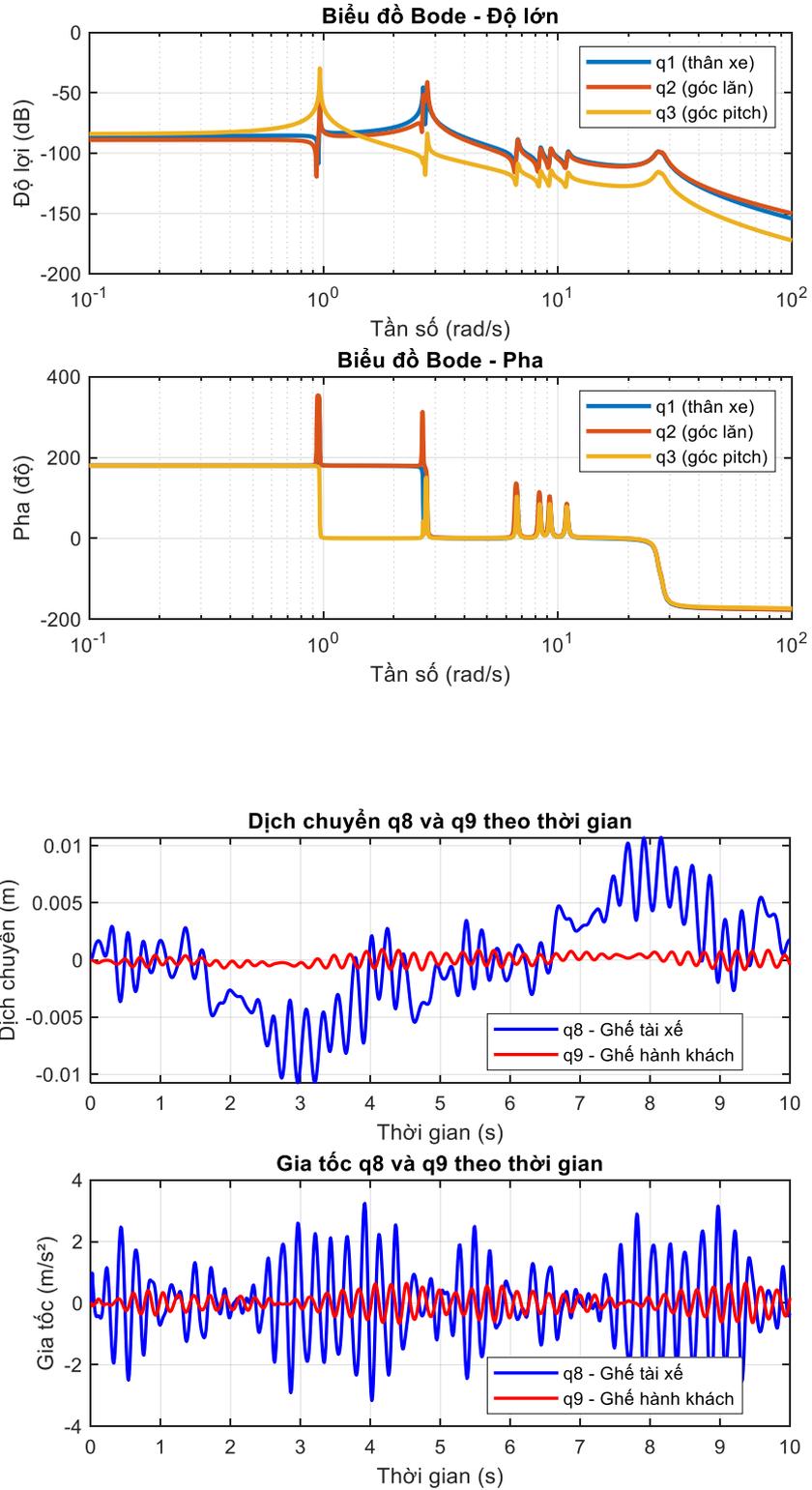


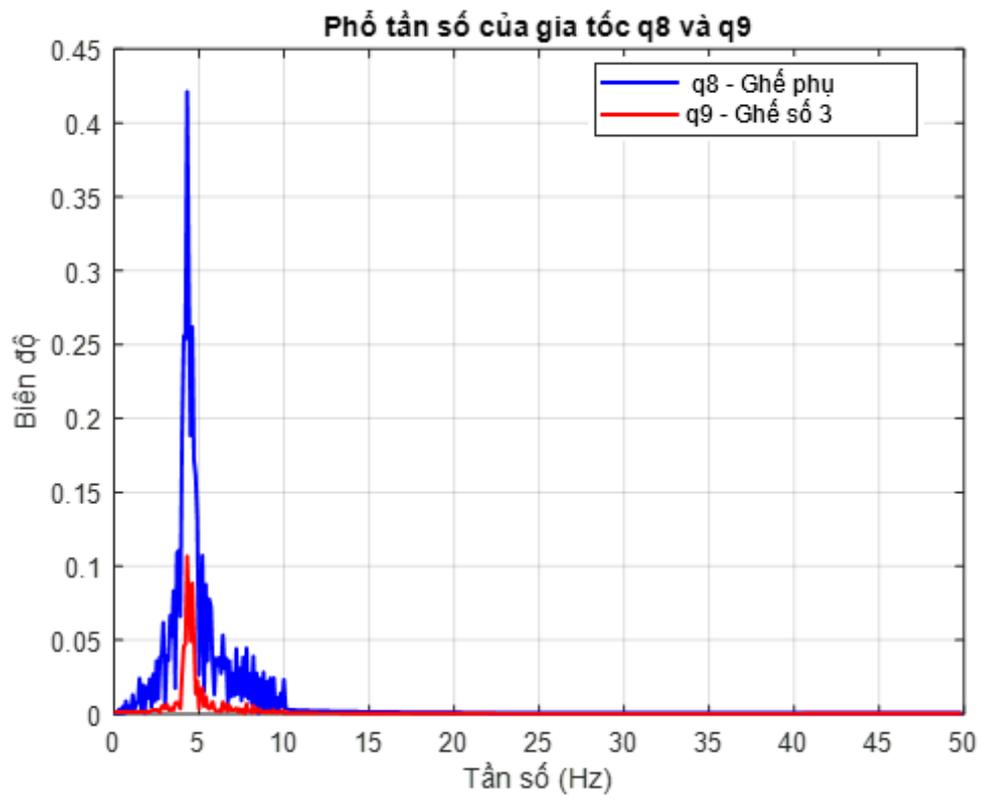




PHỤ LỤC 3.7

CÁC ĐỒ THỊ KẾT QUẢ ĐÁNH GIÁ DAO ĐỘNG VỊ TRÍ HÀNH KHÁCH





PHỤ LỤC 3.8

ĐẶC TÍNH CÁC VẬT LIỆU CỦA MÔ HÌNH GHẾ_ NGƯỜI NGỒI

<i>1. Khung xương ghế: Thép kết cấu / Structural Steel</i>		
Khối lượng riêng/Density	7.85e-06	kg/mm ³
Mô đun đàn hồi/Young's Modulus	2e+05	MPa
Hệ số Poát Xông/ Poisson's Ratio	0.3	
Mô đun chống uốn/ Bulk Modulus	6667e+05	MPa
Mô đun cắt/ Shear Modulus	76923	MPa
Hệ số dẫn nở nhiệt/ Coefficient of Thermal Expansion	1.2e-05	1/°C
Độ bền nén/ Compressive Yield Strength	250	MPa
Độ bền uốn/Tensile Ultimate Strength	460	MPa
Độ bền cắt/Tensile Yield Strength	250	MPa
<i>2. Đệm/ Foam, PVC (rigid, closed cell)</i>		
Khối lượng riêng/ Density	3.98e-08	kg/mm ³
Mô đun đàn hồi/ Young's Modulus	25.83	MPa
Hệ số Poát Xông/ Poisson's Ratio	0.2998	
Mô đun chống uốn/ Bulk Modulus	21.503	MPa
Mô đun cắt/ Shear Modulus	9.9361	MPa
Hệ số dẫn nở nhiệt/ Coefficient of Thermal Expansion	2.191e-05	1/°C
Độ bền uốn/ Tensile Ultimate Strength	0.5399	MPa
Độ bền cắt/ Tensile Yield Strength	0.3989	MPa
<i>3. Người ngồi trên ghế/ Plastic, Polyester (cast, flexible)</i>		
Khối lượng riêng/Density	1.101e-06	kg/mm ³
Mô đun đàn hồi/ Young's Modulus	300	MPa
Hệ số Poát Xông/ Poisson's Ratio	0.4433	
Mô đun chống uốn/Bulk Modulus	881.83	MPa

Mô đun cắt/Shear Modulus	103.93	MPa
Hệ số dẫn nở nhiệt/ Coefficient of Thermal Expansion	0.00012	1/°C
Độ bền uốn/Tensile Ultimate Strength	14.39	MPa
Độ bền cắt/ Tensile Yield Strength	11.51	MPa

PHỤ LỤC 4. MỘT PHẦN KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM V= 40 km/h. Số dữ liệu: 998/107789 dòng (trương ứng 33/6530 trang)								
Time	GIATOCGHEP HU-X	GIATOCGHEP HU-Y	GIATOCGHEP HU-Z	GIATOC DUI	GIATOCNGUC	GIATOCDAU	MAPMO	Velocity Total
s	m/s ²	mm	km/h					
649.545	-0.17917694	0.57190472	0.058990102	-0.54267085	0.081223249	0.069618225	41.656.735	35.467.186
649.546	-0.21690704	0.56092721	0.094203979	-0.54352808	0.086611509	0.072711706	42.242.224	35.467.129
649.547	-0.2375696	0.55339849	0.12589169	-0.53398448	0.08507967	0.073289871	42.132.559	35.467.072
649.548	-0.24913922	0.53818494	0.15191726	-0.51809752	0.081199408	0.076138973	4.202.952	35.467.014
649.549	-0.25147539	0.5341301	0.17312196	-0.50598228	0.079953671	0.075358152	42.170.432	35.466.957
64.955	-0.24785696	0.53223699	0.19247706	-0.50729668	0.079506636	0.074064732	42.165.326	354.669
649.551	-0.26575005	0.53053755	0.20375958	-0.50363922	0.080752373	0.07417202	41.784.207	35.466.843
649.552	-0.28934601	0.5284633	0.211862	-0.51598305	0.078499317	0.076067448	42.672.043	35.466.785
649.553	-0.2998383	0.52965665	0.21372949	-0.51192558	0.082677603	0.079810619	41.748.514	35.466.728
649.554	-0.29696345	0.53082496	0.20994677	-0.50969684	0.084888935	0.08456111	42.484.787	35.466.671
649.555	-0.29435208	0.52990651	0.19954132	-0.49278125	0.08238554	0.088429451	42.010.617	35.466.614
649.556	-0.28723231	0.53101867	0.18867047	-0.49883887	0.082761049	0.089597702	42.509.695	35.466.557
649.557	-0.27491325	0.53647929	0.17064589	-0.48860949	0.085222721	0.093233585	4.195.744	35.466.499
649.558	-0.2555154	0.53881598	0.14918464	-0.46506482	0.087785721	0.093382597	42.389.883	35.466.446
649.559	-0.23614681	0.54030925	0.12110065	-0.45694989	0.087893009	0.09483695	42.077.762	35.466.389
64.956	-0.20757991	0.54069036	0.091184966	-0.43900564	0.085109472	0.095689297	42.353.259	35.466.331
649.561	-0.18406594	0.53895342	0.058644049	-0.43380523	0.08212924	0.097107887	41.839.093	35.466.274
649.562	-0.16459197	0.53178716	0.02773197	-0.42769048	0.082492828	0.09868741	42.012.402	35.466.217
649.563	-0.14333804	0.52423972	-0.005966431	-0.41854692	0.082755089	0.099402666	42.323.691	35.466.616
649.564	-0.13759422	0.5142619	-0.038692303	-0.41123205	0.084418058	0.099301338	42.026.532	35.466.103
649.565	-0.13556837	0.50897616	-0.068178408	-0.42134711	0.084716082	0.10186434	42.132.904	35.466.045
649.566	-0.11624077	0.50780159	-0.093995154	-0.4006598	0.083047152	0.10492206	42.148.279	35.465.988

649.567	-0.09572459	0.49971059	-0.11740743	-0.39957398	0.08289814	0.1080215	42.035.385	35.465.931
649.568	-0.064844936	0.49558699	-0.13133308	-0.39643088	0.08507967	0.10842085	41.959.833	35.465.874
649.569	-0.040031135	0.49321282	-0.14152373	-0.36905733	0.087833405	0.10844469	42.535.397	35.465.816
64.957	-0.022946032	0.48581535	-0.14716202	-0.36157104	0.086265802	0.10961294	41.892.203	35.465.763
649.571	-0.028274149	0.48325998	-0.14999607	-0.35071304	0.083470345	0.11368394	42.059.772	35.465.706
649.572	-0.039820351	0.47431302	-0.15186954	-0.35008442	0.082653761	0.11770725	42.332.953	35.465.649
649.573	-0.047191888	0.47053307	-0.15485871	-0.32511106	0.085806847	0.12034178	4.182.439	35.465.591
649.574	-0.063439719	0.46174231	-0.16262701	-0.3019664	0.083547831	0.12305379	42.327.341	35.465.534
649.575	-0.075946152	0.45450729	-0.17102177	-0.30362365	0.083577633	0.12107491	42.024.747	35.465.477
649.576	-0.071748063	0.45305777	-0.17997143	-0.27190691	0.084984303	0.12150407	42.082.397	3.546.542
649.577	-0.059071831	0.44540414	-0.19182076	-0.25979167	0.085496902	0.12335181	42.326.929	35.465.363
649.578	-0.061167948	0.43627602	-0.20302571	-0.2473907	0.091326237	0.12710094	41.912.808	35.465.305
649.579	-0.07375636	0.42596704	-0.20554355	-0.22973219	0.09290576	0.12791157	42.346.494	35.465.248
64.958	-0.11009879	0.41162193	-0.20714852	-0.23756137	0.090032816	0.12815595	41.951.501	35.465.191
649.581	-0.16525358	0.39522129	-0.20442782	-0.21333091	0.085705519	0.12773275	39.556.454	35.465.134
649.582	-0.21156721	0.38353777	-0.18952368	-0.19275787	0.084030628	0.12777448	42.725.925	35.465.076
649.583	-0.25598964	0.37078586	-0.17760275	-0.18790035	0.084608793	0.12849569	41.938.681	35.465.023
649.584	-0.27080885	0.35771534	-0.15883236	-0.16915604	0.082159042	0.12584925	42.096.817	35.464.966
649.585	-0.2628518	0.34415123	-0.13260393	-0.15995532	0.084078312	0.12868047	42.364.694	35.464.909
649.586	-0.2454915	0.32906261	-0.10164411	-0.13783932	0.084930658	0.12892485	41.958.298	35.464.851
649.587	-0.22720611	0.30478966	-0.066567473	-0.12532406	0.084382296	0.13124943	42.163.354	35.464.794
649.588	-0.22544374	0.28675833	-0.016646342	-0.12269527	0.082689524	0.13372898	42.081.332	35.464.737
649.589	-0.24238247	0.2619043	0.036258001	-0.093092971	0.085425377	0.13755556	42.506.387	3.546.468
64.959	-0.26098403	0.23972438	0.098499805	-0.073662885	0.089544058	0.14078617	42.080.899	35.464.622
649.591	-0.2680921	0.21961875	0.16827722	-0.032173935	0.090676546	0.14058948	42.230.377	35.464.565
649.592	-0.26169834	0.20406157	0.24018465	-0.025144817	0.087612867	0.14010072	41.973.508	35.464.508

649.593	-0.23833075	0.18111315	0.31807044	-0.0022858924	0.085389614	0.13945103	42.273.257	35.464.451
649.594	-0.20779654	0.16174476	0.40161836	0.022458892	0.082921982	0.14019012	41.815.201	35.464.394
649.595	-0.18786588	0.13811533	0.4884001	0.015544068	0.083035231	0.14303923	41.935.596	3.546.434
649.596	-0.16726187	0.11602913	0.57471049	0.015944099	0.083887577	0.14636517	42.263.864	35.464.283
649.597	-0.15770054	0.094961323	0.66559118	0.048689507	0.083190203	0.1457572	42.036.798	35.464.226
649.598	-0.15942779	0.077860907	0.7537989	0.027430709	0.083863735	0.14474392	42.097.571	35.464.169
649.599	-0.1533151	0.063059717	0.84027034	0.04971816	0.086772442	0.14440417	42.151.602	35.464.111
64.96	-0.15640071	0.049414374	0.9198029	0.066462323	0.085157156	0.14653206	41.994.397	35.464.054
649.601	-0.16093254	0.03727477	0.99321979	0.057318751	0.084257126	0.14817715	41.893.719	35.463.997
649.602	-0.1545271	0.030558314	10.602.646	0.077491753	0.087064505	0.15104413	42.553.271	35.464.561
649.603	-0.14388843	0.021280233	1.114.046	0.094864532	0.089460611	0.15478134	41.856.897	35.465.126
649.604	-0.15033486	0.015107341	11.613.777	0.10023639	0.09046793	0.1550138	41.983.337	35.465.691
649.605	-0.1795224	0.0078473203	12.050.221	0.11092293	0.0867486	0.15425682	4.222.016	35.466.255
649.606	-0.21087632	0.0023616934	12.391.382	0.11280879	0.084799528	0.15458465	41.792.142	3.546.682
649.607	-0.23306119	-0.0069663711	1.266.178	0.1263527	0.08790493	0.15904307	4.226.282	35.467.384
649.608	-0.25063226	-0.009315569	12.936.356	0.16424137	0.086712837	0.15797019	4.207.767	35.467.949
649.609	-0.27156416	-0.010390202	13.149.954	0.16395563	0.084251165	0.15699863	41.964.828	35.468.513
64.961	-0.28300497	-0.014326357	13.277.099	0.16567005	0.086861849	0.15798807	42.396.048	35.469.078
649.611	-0.29634866	-0.016388154	13.373.576	0.2051017	0.090408325	0.16073585	41.921.475	35.469.643
649.612	-0.31681216	-0.015488461	13.454.003	0.22070292	0.091177225	0.16124845	42.061.694	35.470.211
649.613	-0.33538446	-0.018537419	13.483.239	0.22756059	0.087159872	0.16192198	42.483.041	35.470.776
649.614	-0.33033738	-0.021330215	13.532.343	0.26167753	0.085616112	0.16243458	41.787.927	3.547.134
649.615	-0.30154797	-0.015425982	13.576.792	0.25956309	0.08328557	0.16189218	42.420.471	35.471.905
649.616	-0.26190329	-0.0070413454	13.622.435	0.25927734	0.082564354	0.16229153	42.093.961	35.472.469
649.617	-0.22092947	0.0059354729	1.366.253	0.2838507	0.085818768	0.16435385	41.943.478	35.473.034
649.618	-0.18949358	0.023460738	13.689.378	0.29579449	0.087076426	0.16505718	42.346.442	35.473.598

649.619	-0.16066906	0.045184568	13.667.303	0.30442372	0.087833405	0.16818047	42.050.806	35.474.163
64.962	-0.14108384	0.072175354	1.360.042	0.30390939	0.088465214	0.17134547	4.216.814	35.474.728
649.621	-0.13298042	0.098635063	13.475.125	0.31768191	0.086414814	0.17259121	42.269.763	35.475.292
649.622	-0.1120661	0.12859358	13.276.204	0.34082657	0.084245205	0.17486811	42.264.047	35.475.857
649.623	-0.088142268	0.15547191	13.017.678	0.34362677	0.083428621	0.17555952	4.220.686	35.476.421
649.624	-0.056208704	0.18739225	12.725.562	0.33722627	0.082725286	0.17556548	42.065.671	35.476.986
649.625	-0.023408582	0.22112449	12.357.254	0.34248382	0.085622072	0.17598271	42.068.091	35.477.551
649.626	-0.0036945511	0.25034577	11.943.005	0.36334261	0.087481737	0.17597675	42.121.613	35.478.115
649.627	0.0070085227	0.27554339	11.507.574	0.35688496	0.087714195	0.17648339	41.962.262	35.478.868
649.628	0.0037648121	0.2998476	11.074.054	0.36865729	0.086677074	0.17912984	41.765.945	35.479.244
649.629	0.001844348	0.31811637	10.610.522	0.37025744	0.085389614	0.18138289	4.227.952	35.479.809
64.963	-0.0037882323	0.33726606	10.124.675	0.38368705	0.084042549	0.18274188	42.005.273	35.480.373
649.631	-0.003290551	0.34961811	0.9593603	0.40957478	0.084233284	0.18164515	41.924.164	35.480.938
649.632	0.0036125802	0.36475667	0.91023272	0.4070603	0.084918737	0.17903447	4.213.602	35.481.506
649.633	0.0047308989	0.37510315	0.85652292	0.42477596	0.083965063	0.17943382	42.065.973	35.482.071
649.634	-0.00027518845	0.39085403	0.8043226	0.43191937	0.084686279	0.1829803	41.912.708	35.482.635
649.635	-0.0049416819	0.40844175	0.74906749	0.44694912	0.090271235	0.18749833	4.243.837	35.482.832
649.636	-0.0076115951	0.42331794	0.69343054	0.45266384	0.089263916	0.18931031	42.023.114	35.483.765
649.637	-0.023607654	0.44412959	0.63778162	0.47295114	0.086635351	0.19011497	41.889.835	35.484.329
649.638	-0.030335134	0.45826849	0.57971632	0.4654077	0.087946653	0.19071698	42.336.301	35.484.894
649.639	-0.036465395	0.47459418	0.52446717	0.49689585	0.0872612	0.19171238	41.868.896	35.485.458
64.964	-0.035511021	0.49279422	0.4714435	0.49426708	0.085067749	0.19325018	42.187.433	35.486.023
649.641	-0.026816236	0.50485885	0.41816923	0.49460998	0.087356567	0.19550323	42.002.679	35.486.588
649.642	-0.018507887	0.51797938	0.3683376	0.51455438	0.089544058	0.19502044	41.765.659	35.487.152
649.643	0.0024122901	0.52755111	0.32479459	0.50969684	0.089764595	0.19209981	42.433.078	35.487.717
649.644	0.026529336	0.53696036	0.28520733	0.51095408	0.084811449	0.19193292	41.951.636	35.488.281

649.645	0.051226035	0.53945953	0.2428218	0.53861338	0.083136559	0.19520521	42.070.865	35.488.846
649.646	0.078048125	0.53780383	0.20113435	0.53907061	0.080263615	0.19612312	42.387.949	3.548.941
649.647	0.1080261	0.53631687	0.16491215	0.53484166	0.081169605	0.19803643	41.862.451	35.489.975
649.648	0.14109555	0.52821338	0.13318267	0.54381382	0.082433224	0.19897223	42.266.876	3.549.054
649.649	0.16678761	0.51626742	0.10790887	0.55284309	0.083351135	0.20036101	421.823	35.491.104
64.965	0.19059435	0.50302821	0.09026017	0.57141596	0.085937977	0.20105839	41.913.974	35.491.669
649.651	0.2080366	0.48950782	0.082945324	0.56130087	0.089430809	0.20497441	42.492.288	35.492.233
649.652	0.22164379	0.47405687	0.083249614	0.58015949	0.091475248	0.20600557	41.952.838	35.492.802
649.653	0.22573064	0.4588933	0.092223123	0.59564644	0.091159344	0.20588636	4.218.981	35.493.366
649.654	0.22158524	0.43903133	0.10577289	0.59501779	0.089001656	0.20206571	42.207.962	35.493.931
649.655	0.22789702	0.41530192	0.12086199	0.59227473	0.085449219	0.20173192	42.306.265	35.494.495
649.656	0.23938467	0.39612722	0.14298552	0.58381695	0.086373091	0.20502806	42.250.784	3.549.506
649.657	0.25704357	0.38051382	0.16595031	0.60256124	0.085413456	0.20723343	42.036.102	35.495.625
649.658	0.27346119	0.36415064	0.18657626	0.59621787	0.087285042	0.20795465	42.073.535	35.496.189
649.659	0.28067464	0.34523836	0.20884895	0.59741801	0.090003014	0.20912886	42.041.162	35.496.754
64.966	0.27476686	0.32213375	0.23038776	0.62004834	0.085991621	0.21078587	42.245.041	35.497.318
649.661	0.26641753	0.30262789	0.25254112	0.63319218	0.085180998	0.21109581	41.820.767	35.497.883
649.662	0.24619411	0.27514979	0.26682475	0.6392498	0.083065033	0.21012425	42.350.174	35.498.447
649.663	0.22438397	0.24385422	0.27726603	0.64753616	0.082939863	0.20995736	42.040.842	35.499.012
649.664	0.21166675	0.21362704	0.29199117	0.64776474	0.08687973	0.20876527	42.092.523	35.499.577
649.665	0.20613371	0.18131933	0.30330351	0.65936565	0.088757277	0.20646453	42.129.147	35.500.141
649.666	0.20237474	0.14345726	0.31833294	0.65953714	0.088828802	0.20495057	42.216.278	35.500.706
649.667	0.1955653	0.10575763	0.33734199	0.65713692	0.088381767	0.2061069	41.930.798	3.550.127
649.668	0.18283637	0.068207957	0.35701931	0.667252	0.085705519	0.20871162	42.314.075	35.501.835
649.669	0.17484419	0.030527076	0.37811658	0.69182533	0.085842609	0.21063685	42.091.061	35.502.399
64.967	0.17196935	-0.0047296346	0.3995122	0.67056656	0.082188845	0.21101236	41.801.877	35.502.964

649.671	0.18007863	-0.035937726	0.42044842	0.67719561	0.079083443	0.21151304	424.513	35.503.529
649.672	0.20868066	-0.067458212	0.43851477	0.69473988	0.081688166	0.21256208	41.786.591	35.504.097
649.673	0.23802629	-0.094998807	0.45625895	0.69291115	0.084447861	0.21137595	42.320.593	35.504.662
649.674	0.25083718	-0.1169913	0.47247571	0.69279683	0.090241432	0.21374226	42.047.498	35.505.226
649.675	0.26028728	-0.13962732	0.48174754	0.68708211	0.089728832	0.21826625	42.053.549	35.505.791
649.676	0.25669813	-0.15551564	0.48862684	0.68713927	0.086808205	0.21874309	42.382.086	35.506.355
649.677	0.26658735	-0.17222244	0.48483813	0.68805361	0.085371733	0.21699071	42.003.967	3.550.692
649.678	0.27777639	-0.18985392	0.47299477	0.68622488	0.082224607	0.21444559	42.173.111	35.507.484
649.679	0.29435208	-0.1982448	0.46290556	0.69874018	0.082176924	0.21361113	4.234.006	35.508.049
64.968	0.3103013	-0.21307099	0.43947536	0.69176817	0.082665682	0.21725893	42.163.528	35.508.614
649.681	0.3324452	-0.22294886	0.41406435	0.68411046	0.083380938	0.217098	4.337.099	35.509.178
649.682	0.35643342	-0.23135848	0.38077167	0.67971009	0.0870049	0.21610856	42.233.994	35.509.743
649.683	0.35574254	-0.24222977	0.33605921	0.67759567	0.085407495	0.21390319	42.012.436	35.510.307
649.684	0.35738781	-0.25057068	0.28959265	0.67656702	0.083947182	0.21451712	42.456.177	35.510.872
649.685	0.36049685	-0.25640619	0.24254139	0.6850248	0.08174181	0.21757483	41.988.522	35.511.436
649.686	0.37066713	-0.25959885	0.19461304	0.69879729	0.081545115	0.21839142	4.228.649	35.512.001
649.687	0.38527551	-0.27087	0.13897608	0.68742502	0.085538626	0.21591187	42.154.477	35.512.566
649.688	0.38220161	-0.28027305	0.08758124	0.69891161	0.085818768	0.21155477	42.419.815	3.551.313
649.689	0.37450805	-0.28109774	0.039062224	0.70468348	0.082731247	0.20884871	42.205.878	35.513.695
64.969	0.35471204	-0.28827655	-0.010405456	0.72062761	0.080347061	0.20689964	42.135.397	35.514.259
649.691	0.33317709	-0.29370594	-0.059336156	0.72342783	0.082707405	0.20884871	41.991.968	35.514.824
649.692	0.32060623	-0.29404959	-0.10906636	0.6945684	0.079643726	0.21238923	4.223.671	35.515.392
649.693	0.31500879	-0.30227178	-0.16169624	0.68736786	0.081819296	0.21328926	42.122.519	35.515.957
649.694	0.313627	-0.30076605	-0.2093561	0.69976884	0.083351135	0.21413565	41.696.991	35.516.521
649.695	0.31972799	-0.30463973	-0.25764242	0.69102526	0.084632635	0.21717548	42.176.385	35.517.086
649.696	0.31972799	-0.3005411	-0.29597077	0.66353744	0.082546473	0.21753907	4.192.186	35.517.651

649.697	0.30016619	-0.30340263	-0.331835	0.64399302	0.080835819	0.21244287	41.923.492	35.518.215
649.698	0.27557486	-0.3086071	-0.36132705	0.64919347	0.083237886	0.21035075	42.035.086	3.551.878
649.699	0.25721335	-0.31025654	-0.38247806	0.66445178	0.085657835	0.20707846	42.144.113	35.519.344
64.97	0.24612971	-0.31895983	-0.40343812	0.656394	0.083130598	0.20469427	41.748.093	35.519.909
649.701	0.23731197	-0.32368946	-0.41154054	0.64165002	0.08289814	0.20319819	42.315.973	35.520.473
649.702	0.23950177	-0.3276881	-0.4117792	0.62027693	0.080835819	0.20445585	42.034.048	35.520.454
649.703	0.23606484	-0.33314249	-0.40300259	0.61633372	0.07789135	0.20301342	4.165.914	35.520.435
649.704	0.22006293	-0.34225813	-0.39068189	0.62176275	0.075036287	0.20335913	42.319.998	35.520.416
649.705	0.21061283	-0.35231718	-0.37551522	0.62822038	0.077956915	0.20022988	41.697.968	35.520.397
649.706	0.20662554	-0.35662821	-0.35530096	0.63336366	0.082546473	0.19904971	4.220.191	35.520.378
649.707	0.19906078	-0.36977372	-0.33392921	0.64262152	0.080132484	0.200665	41.963.071	35.520.359
649.708	0.19443527	-0.3809824	-0.30779624	0.64239293	0.078928471	0.20242929	41.874.686	35.520.336
649.709	0.19811225	-0.38908589	-0.27972418	0.63107777	0.080341101	0.20400882	42.119.861	35.520.317
64.971	0.21006832	-0.3978079	-0.24683125	0.62107694	0.079464912	0.20182133	42.068.015	35.520.298
649.711	0.20836449	-0.4059926	-0.20946349	0.60593295	0.077557564	0.20076036	41.856.079	35.520.279
649.712	0.1978195	-0.40862921	-0.16416039	0.61056185	0.077110529	0.19811392	42.423.666	3.552.026
649.713	0.19141406	-0.40944141	-0.12124981	0.61267632	0.078731775	0.19540191	41.682.559	35.520.241
649.714	0.18606251	-0.4143835	-0.085498951	0.60027534	0.080007315	0.19329786	42.115.213	35.520.222
649.715	0.18632014	-0.41629532	-0.049408015	0.59147465	0.080138445	0.19183159	42.309.198	35.520.203
649.716	0.18799469	-0.41679516	-0.018478036	0.59793234	0.08327961	0.19085407	41.787.503	35.520.184
649.717	0.18671243	-0.4202565	0.0076429979	0.60919034	0.084686279	0.19029379	4.240.527	35.520.164
649.718	0.20482802	-0.43092158	0.034820091	0.59478921	0.083130598	0.18854737	41.857.266	35.520.145
649.719	0.22255133	-0.43320206	0.061484072	0.57770216	0.08045435	0.18978715	42.131.281	35.520.126
64.972	0.22801997	-0.43820661	0.085361727	0.58598852	0.078338385	0.19085407	42.096.295	35.520.103
649.721	0.22853522	-0.44279879	0.10591011	0.58147389	0.079029799	0.19126534	42.313.516	35.520.084
649.722	0.21702415	-0.44653502	0.13052164	0.57953089	0.077748299	0.18683076	42.043.533	35.520.065

649.723	0.19658408	-0.44853431	0.15337904	0.56307244	0.076419115	0.18631816	42.228.046	35.520.046
649.724	0.17801179	-0.45318899	0.17275801	0.56650126	0.079929829	0.18607974	41.735.822	35.520.027
649.725	0.17967463	-0.45407617	0.19895063	0.55067146	0.078892708	0.18487573	42.155.396	35.520.008
649.726	0.19407226	-0.44960895	0.22335334	0.53758472	0.076621771	0.18455386	41.945.663	35.519.989
649.727	0.20897926	-0.44504178	0.24316786	0.54152793	0.075817108	0.18393993	41.852.481	3.551.997
649.728	0.21001562	-0.43905631	0.2620874	0.53324157	0.07417202	0.18256307	41.913.727	35.519.951
649.729	0.18672414	-0.42912844	0.27779105	0.52849835	0.07455945	0.17805099	42.236.725	35.519.932
64.973	0.16307549	-0.41640779	0.28678843	0.51421148	0.075691938	0.1775682	4.176.178	35.519.913
649.731	0.16000743	-0.40260625	0.28227782	0.50689662	0.076252222	0.17766953	42.182.956	35.519.894
649.732	0.14870715	-0.39172247	0.27183059	0.49512431	0.077754259	0.17630458	42.006.015	35.519.875
649.733	0.15220262	-0.37918925	0.2526485	0.4907811	0.079363585	0.17719865	41.723.236	35.519.852
649.734	0.16368443	-0.36479416	0.23223735	0.4799231	0.07904768	0.17766356	42.092.603	35.519.833
649.735	0.14993672	-0.34920573	0.20597909	0.47575137	0.074845552	0.17703772	42.255.371	35.519.814
649.736	0.13039833	-0.33253643	0.1734859	0.47923735	0.071400404	0.17957687	41.552.744	35.519.794
649.737	0.10654476	-0.31011909	0.1418698	0.47872302	0.06955862	0.179106	42.280.746	35.519.775
649.738	0.088780478	-0.2882953	0.10586239	0.46266463	0.068622828	0.17746687	41.747.473	35.519.756
649.739	0.084998094	-0.26762736	0.067241676	0.4663792	0.071144104	0.17618537	42.300.497	35.519.737
64.974	0.08928401	-0.24721557	0.023358578	0.45123518	0.077462196	0.17433763	41.944.461	35.519.718
649.741	0.094963431	-0.22684129	-0.018698795	0.44312024	0.076502562	0.17188191	4.184.534	35.519.699
649.742	0.095718734	-0.2006065	-0.063250132	0.43877706	0.070422888	0.16987324	42.131.754	3.551.968
649.743	0.084576532	-0.17517143	-0.10680508	0.42849052	0.065529346	0.16993284	42.220.261	35.519.661
649.744	0.056618556	-0.14761209	-0.15189937	0.41826117	0.065481663	0.16742349	41.692.822	35.519.642
649.745	0.042753745	-0.1234016	-0.1990819	0.40100268	0.069057941	0.16713142	42.529.221	35.519.619
649.746	0.029117279	-0.10286487	-0.24898513	0.39128762	0.07174015	0.16628504	41.658.173	355.196
649.747	0.020504465	-0.078779347	-0.30057687	0.39991689	0.074183941	0.16613007	42.185.608	35.519.581
649.748	0.0078692185	-0.062309969	-0.35663745	0.37854379	0.073367357	0.16592741	42.145.477	35.519.562

649.749	-0.0068211602	-0.043972485	-0.41155845	0.37437204	0.069367886	0.16444325	4.203.815	35.519.543
64.975	-0.015949219	-0.027303176	-0.47093636	0.37922955	0.067174435	0.16444325	42.110.788	35.519.524
649.751	-0.0229109	-0.01080256	-0.53214002	0.38745877	0.069773197	0.16503334	42.161.569	35.519.505
649.752	-0.021476408	0.0054606353	-0.5951634	0.37111464	0.071811676	0.16527176	4.192.926	35.519.485
649.753	-0.011716002	0.022885934	-0.65938014	0.3748292	0.073355436	0.16448498	42.275.476	35.519.466
649.754	0.0096960012	0.036699966	-0.72894275	0.37431487	0.070941448	0.16459823	4.203.909	35.519.447
649.755	0.038274612	0.05121376	-0.79349357	0.36962882	0.068360567	0.16378164	4.225.285	35.519.428
649.756	0.061238211	0.063484572	-0.85290128	0.37345767	0.064301491	0.16129613	41.945.566	35.519.409
649.757	0.07878001	0.072718918	-0.9049226	0.35448477	0.063830614	0.1583457	4.189.032	3.551.939
649.758	0.087000534	0.078666888	-0.94778544	0.35002726	0.062018633	0.15707016	41.830.042	35.519.367
649.759	0.080647774	0.083702669	-0.97993857	0.36082813	0.063037872	0.15566945	42.228.998	35.519.348
64.976	0.070266731	0.081159785	-1.002.951	0.36402836	0.06506443	0.1563549	41.900.781	35.519.329
649.761	0.07505618	0.075617924	-10.163.158	0.37820089	0.062900782	0.15513897	42.064.978	3.551.931
649.762	0.10381044	0.068195462	-10.197.943	0.37934384	0.060713291	0.15332103	42.146.008	35.519.291
649.763	0.1548257	0.058136396	-101.202	0.38357276	0.057530403	0.15057325	418.38	35.519.272
649.764	0.20987509	0.041023489	-0.99861348	0.39974543	0.060230494	0.15151501	42.171.487	35.519.253
649.765	0.25406334	0.021049062	-0.98217595	0.40511727	0.063347816	0.15132427	42.157.626	35.519.234
649.766	0.28833893	-0.001824377	-0.96122783	0.41591811	0.059211254	0.15143752	4.187.103	35.519.215
649.767	0.29925278	-0.027490612	-0.94083458	0.41666105	0.058692694	0.14993548	41.998.428	35.519.196
649.768	0.29979146	-0.052682009	-0.91285795	0.41717535	0.061643124	0.14702082	42.349.939	35.519.176
649.769	0.29311666	-0.073687337	-0.88145065	0.41603243	0.060969591	0.14773607	41.661.942	35.519.157
64.977	0.30038282	-0.094823867	-0.84809834	0.42100424	0.060093403	0.14628172	42.332.632	35.519.135
649.771	0.3148917	-0.11622281	-0.80639893	0.42123282	0.059050322	0.14414787	41.801.108	35.519.115
649.772	0.30870289	-0.14067072	-0.76324373	0.40957478	0.055211782	0.14250875	42.180.499	35.519.096
649.773	0.30006665	-0.16889857	-0.72076273	0.4124893	0.052946806	0.13880134	42.190.479	35.519.077
649.774	0.28201544	-0.19425242	-0.66635489	0.40426007	0.054061413	0.13746023	41.821.127	35.519.058

649.775	0.26260588	-0.22174302	-0.61072981	0.41551811	0.054699183	0.13806224	42.299.124	35.519.039
649.776	0.24440247	-0.24897747	-0.55433512	0.42003274	0.055724382	0.13957024	41.990.198	3.551.902
649.777	0.23060791	-0.27794257	-0.49746311	0.40963191	0.060522556	0.14201999	41.995.908	35.519.001
649.778	0.21705341	-0.30863211	-0.44116387	0.41671818	0.057995319	0.14033318	4.210.687	35.518.982
649.779	0.21017957	-0.33652884	-0.38092083	0.41551811	0.053757429	0.13818741	42.174.948	35.518.963
64.978	0.19963458	-0.37232286	-0.33112499	0.43386239	0.050479174	0.13513565	41.593.976	35.518.944
649.781	0.16905938	-0.41279653	-0.27979577	0.44232017	0.052976608	0.13518333	40.706.711	35.518.925
649.782	0.14520581	-0.4362635	-0.21077611	0.44169155	0.053489208	0.13315082	42.035.336	35.518.906
649.783	0.10867602	-0.47326964	-0.15834311	0.45860717	0.056123734	0.13100505	42.236.871	35.518.883
649.784	0.062660992	-0.5108943	-0.100421	0.45889291	0.054591894	0.12867451	42.152.542	35.518.864
649.785	0.020926032	-0.54561365	-0.043489315	0.4708367	0.054180622	0.12612939	42.096.036	35.518.845
649.786	-0.0020492757	-0.57505989	0.01705206	0.47958022	0.049465895	0.12422204	42.232.831	35.518.826
649.787	-0.029076293	-0.60739255	0.074186601	0.49655297	0.046628714	0.1265049	42.066.565	35.518.806
649.788	-0.065389454	-0.63112199	0.13213257	0.4948957	0.045669079	0.12870431	42.104.599	35.518.787
649.789	-0.095718734	-0.6538642	0.18673138	0.50683951	0.047206879	0.13075471	42.038.907	35.518.768
64.979	-0.12857156	-0.67335129	0.23701647	0.52204067	0.046885014	0.12780428	41.926.532	35.518.749
649.791	-0.1575893	-0.68695289	0.28231362	0.55010003	0.047212839	0.12561083	42.029.114	3.551.873
649.792	-0.16760732	-0.69497514	0.32098803	0.56198663	0.051689148	0.12324452	42.248.911	35.518.711
649.793	-0.16472077	-0.69467527	0.35457903	0.58267397	0.052803755	0.12381673	41.965.079	35.518.692
649.794	-0.16220309	-0.69912374	0.37990654	0.59067458	0.05068779	0.12239218	42.101.477	35.518.673
649.795	-0.15444513	-0.7005108	0.40203005	0.60959035	0.046557188	0.11985302	42.286.166	3.551.865
649.796	-0.16356732	-0.69849271	0.41948783	0.64119279	0.040948391	0.11783242	4.188.866	35.518.631
649.797	-0.19447626	-0.69896132	0.43282875	0.6560511	0.040763617	0.11726618	42.257.144	35.518.612
649.798	-0.22937834	-0.70314735	0.43527499	0.68302464	0.0395298	0.11646748	42.130.316	35.518.593
649.799	-0.24008141	-0.70386589	0.43581197	0.69862586	0.044620037	0.11562705	41.909.933	35.518.574
64.98	-0.22525051	-0.70149791	0.4301379	0.70816946	0.049716234	0.11698604	41.982.184	35.518.555

649.801	-0.20296611	-0.70340979	0.41418368	0.71817023	0.049555302	0.11510849	42.350.534	35.518.536
649.802	-0.1844992	-0.70034206	0.39796093	0.72805673	0.045269728	0.11557341	41.640.866	35.518.486
649.803	-0.18213962	-0.69546872	0.3812609	0.75394446	0.040721893	0.11737347	42.419.836	35.518.436
649.804	-0.19317643	-0.69025803	0.36511573	0.76434529	0.04054904	0.11402965	41.802.902	35.518.387
649.805	-0.214202	-0.68367279	0.35160774	0.77023143	0.041699409	0.11377931	42.258.307	35.518.337
649.806	-0.23738809	-0.67670637	0.33409625	0.78691846	0.042158365	0.11268258	42.170.905	35.518.291
649.807	-0.25425655	-0.66649741	0.31861934	0.80326259	0.043928623	0.11010766	41.850.845	35.518.242
649.808	-0.2599301	-0.6550138	0.3009766	0.82017821	0.044709444	0.10778308	42.162.646	35.518.192
649.809	-0.26029313	-0.63806957	0.28214654	0.82663584	0.044238567	0.10687113	42.270.731	35.518.143
64.981	-0.26248294	-0.62726706	0.25639543	0.8470946	0.04016757	0.10797977	41.895.303	35.518.093
649.811	-0.26950318	-0.61209095	0.22990449	0.8547523	0.037443638	0.1083374	42.389.374	35.518.044
649.812	-0.270358	-0.59425956	0.20599699	0.87429672	0.037670135	0.10442138	4.201.348	35.517.994
649.813	-0.27651754	-0.58034557	0.17624837	0.89875573	0.037771463	0.10178685	419.802	35.517.944
649.814	-0.28494298	-0.56553811	0.14509167	0.90407044	0.038701296	0.099205971	42.578.912	35.517.895
649.815	-0.27207941	-0.55314863	0.11045653	0.93104398	0.037926435	0.10022521	4.189.296	35.517.849
649.816	-0.23912704	-0.53637934	0.076889396	0.94744527	0.037515163	0.10052919	42.455.048	35.517.799
649.817	-0.20734571	-0.52514565	0.047952205	0.97373301	0.038486719	0.098377466	42.093.454	3.551.775
649.818	-0.19136721	-0.51000708	0.029844087	0.98481959	0.038897991	0.09534359	42.316.885	355.177
649.819	-0.19081683	-0.49342525	0.02005914	0.99899215	0.036668777	0.093728304	4.207.811	35.517.651
64.982	-0.20807174	-0.48247898	0.019605692	10.228.226	0.03670454	0.090789795	42.360.886	35.517.601
649.821	-0.23641615	-0.47376946	0.025882376	1.046.653	0.034737587	0.091719627	42.096.555	35.517.551
649.822	-0.24497627	-0.46661565	0.038936928	1.054.768	0.030457973	0.091928244	42.280.969	35.517.502
649.823	-0.23474745	-0.45826226	0.055529572	10.735.122	0.029468536	0.089687109	4.163.649	35.517.452
649.824	-0.20904954	-0.45841846	0.072736762	1.091.285	0.033503771	0.084578991	42.020.135	35.517.406
649.825	-0.17730919	-0.45858714	0.089472599	11.135.154	0.034636259	0.08123517	42.258.902	35.517.357
649.826	-0.16203915	-0.45825601	0.10981813	11.163.727	0.03324151	0.081706047	42.047.064	35.517.307

649.827	-0.16513649	-0.46127996	0.12991306	1.140.146	0.031030178	0.08379817	42.017.258	35.517.258
649.828	-0.16806401	-0.46138617	0.15379073	11.653.479	0.02989769	0.08354187	42.176.221	35.517.208
649.829	-0.16041143	-0.46248582	0.17404079	11.814.635	0.027531385	0.083982944	41.910.654	35.517.159
64.983	-0.15540536	-0.46695927	0.18866451	11.892.927	0.029402971	0.082945824	42.057.541	35.517.109
649.831	-0.15462077	-0.46948341	0.20030501	12.066.655	0.033915043	0.080811977	42.366.327	35.517.059
649.832	-0.15592645	-0.47472537	0.21075223	12.240.382	0.040054321	0.07917285	41.769.937	3.551.701
649.833	-0.16715063	-0.48151681	0.2201971	12.274.671	0.040572882	0.07609129	42.019.354	35.516.964
649.834	-0.18753214	-0.4911885	0.2325834	12.537.549	0.03362298	0.071769953	42.329.657	35.516.914
649.835	-0.20180681	-0.50089145	0.2429471	1.277.071	0.026625395	0.069904327	41.766.467	35.516.865
649.836	-0.2095882	-0.51024449	0.25578687	12.888.433	0.022351742	0.065034628	42.451.279	35.516.815
649.837	-0.22327736	-0.51951635	0.27097738	13.094.163	0.021600723	0.063806772	41.925.592	35.516.766
649.838	-0.22170235	-0.52830708	0.29006997	13.231.317	0.024402142	0.063288212	42.101.639	35.516.716
649.839	-0.20866895	-0.53433001	0.3130646	13.286.749	0.027817488	0.063455105	42.187.952	35.516.666
64.984	-0.2108646	-0.54425788	0.33509862	13.486.766	0.032550097	0.063079596	41.842.636	35.516.617
649.841	-0.21735787	-0.54994345	0.36086765	13.566.772	0.033277273	0.06005168	42.248.276	35.516.567
649.842	-0.22789702	-0.55641621	0.38559252	13.677.065	0.033557415	0.05710721	42.202.048	35.516.521
649.843	-0.23033857	-0.56621289	0.40683898	13.738.214	0.030457973	0.055289268	41.783.316	35.516.472
649.844	-0.22625174	-0.57767773	0.42293641	1.398.909	0.027239323	0.052827597	42.425.629	35.516.422
649.845	-0.22351156	-0.58739942	0.42756638	14.110.242	0.024473667	0.054699183	41.960.565	35.516.373
649.846	-0.22487579	-0.59206033	0.42285886	14.251.968	0.021523237	0.054609776	41.976.755	35.516.323
649.847	-0.23337737	-0.60157579	0.41053817	14.222.251	0.024485588	0.050967932	42.478.244	35.516.273
649.848	-0.24310264	-0.61123502	0.38765693	14.279.399	0.029683113	0.048929453	41.908.011	35.516.224
649.849	-0.2440453	-0.62169397	0.3537139	14.479.985	0.03194809	0.04761219	42.239.993	35.516.174
64.985	-0.24517533	-0.63112819	0.31442493	14.463.984	0.031483173	0.044053793	42.092.438	35.516.125
649.851	-0.24362959	-0.64043128	0.26893091	14.530.847	0.0238657	0.045096874	42.365.076	35.516.075
649.852	-0.23898652	-0.64456737	0.2177449	14.720.576	0.019419193	0.044137239	42.085.049	35.516.029

649.853	-0.23957789	-0.65034664	0.16457206	14.705.718	0.019329786	0.045114756	42.282.407	3.551.598
649.854	-0.24963105	-0.65757543	0.10690054	14.906.876	0.019770861	0.043970346	41.885.147	3.551.593
649.855	-0.26162809	-0.66232383	0.053304095	14.962.308	0.020849705	0.043785572	42.154.214	35.515.881
649.856	-0.2874431	-0.6681031	0.0051251641	15.046.887	0.019949675	0.043416023	41.719.269	35.515.831
649.857	-0.29460385	-0.67149568	-0.038334318	15.045.744	0.02015233	0.040382147	42.031.357	35.515.781
649.858	-0.27932799	-0.67500699	-0.077342845	15.153.753	0.018197298	0.035744905	42.114.966	35.515.732
649.859	-0.25400478	-0.67729998	-0.11463304	15.248.617	0.01963973	0.030380487	42.230.005	35.515.682
64.986	-0.2124806	-0.68037391	-0.15050919	15.372.055	0.019276142	0.027686357	41.857.205	35.515.633
649.861	-0.17356193	-0.68463492	-0.18554407	15.289.191	0.017273426	0.024837255	42.329.407	35.515.587
649.862	-0.1497435	-0.68750274	-0.2220109	15.336.623	0.014656782	0.024718046	41.844.434	35.515.537
649.863	-0.13162205	-0.6914264	-0.25686678	15.240.045	0.018906593	0.025695562	42.207.452	35.515.488
649.864	-0.11833689	-0.69163257	-0.29555312	15.286.334	0.020861626	0.028342009	42.302.679	35.515.438
649.865	-0.10810222	-0.69128269	-0.33645898	15.234.902	0.020569563	0.027859211	42.037.369	35.515.388
649.866	-0.11156256	-0.6966871	-0.3793934	15.316.051	0.02155304	0.029116869	41.987.442	35.515.339
649.867	-0.12374697	-0.69564366	-0.42449963	15.280.048	0.018912554	0.029039383	42.311.517	35.515.289
649.868	-0.12742396	-0.69917375	-0.47618085	15.286.334	0.020098686	0.027775764	41.846.817	3.551.524
649.869	-0.1270141	-0.70495927	-0.52661508	15.160.609	0.020116568	0.022953749	42.227.576	3.551.519
64.987	-0.12332541	-0.70414704	-0.56994331	15.276.619	0.01937151	0.018453598	41.970.236	35.515.144
649.871	-0.12211341	-0.70800197	-0.61340874	15.270.333	0.018054247	0.015896559	42.070.245	35.515.095
649.872	-0.13454373	-0.71211928	-0.64492345	15.289.191	0.015687943	0.017845631	42.346.356	35.515.045
649.873	-0.14960884	-0.71699888	-0.66915911	1.546.692	0.014156103	0.021380186	41.793.842	35.514.996
649.874	-0.1732399	-0.72593957	-0.68501788	15.556.641	0.016385317	0.022381544	42.261.554	35.514.946
649.875	-0.18283051	-0.73587996	-0.68977308	15.508.065	0.024336576	0.019669533	42.268.872	35.514.896
649.876	-0.18989173	-0.7505874	-0.68559062	15.534.925	0.023657084	0.014615059	41.979.074	35.514.847
649.877	-0.20201173	-0.76899362	-0.67427832	15.641.218	0.01860261	0.013673306	4.224.126	35.514.797
649.878	-0.19440599	-0.78327626	-0.65256643	15.626.932	0.016003847	0.012093782	42.209.039	35.514.748

649.879	-0.18243822	-0.79648423	-0.61580729	15.787.516	0.014036894	0.011432171	41.885.818	35.514.702
64.988	-0.18034796	-0.80856138	-0.57666749	15.597.216	0.010597706	0.010210276	4.277.605	35.514.652
649.881	-0.17548825	-0.82716751	-0.53150159	15.705.224	0.01257658	0.0094592571	43.913.275	35.514.603
649.882	-0.17783028	-0.83520854	-0.47291124	15.665.792	0.016659498	0.010323524	41.975.641	35.514.553
649.883	-0.1735795	-0.84920996	-0.42872387	15.530.353	0.015413761	0.013291836	42.428.674	35.514.503
649.884	-0.16652414	-0.85512674	-0.37334943	15.285.763	0.013786554	0.016015768	42.241.534	35.514.454
649.885	-0.14473155	-0.86011875	-0.32882193	15.087.461	0.012403727	0.015622377	42.246.057	35.514.404
649.886	-0.11153914	-0.86366755	-0.28028503	15.005.741	0.01270771	0.012642145	42.108.905	35.514.355
649.887	-0.085320123	-0.86158079	-0.23617519	14.991.454	0.012052059	0.0074088573	42.090.665	35.514.305
649.888	-0.044621512	-0.85748839	-0.19286488	14.934.878	0.012165308	0.0058531761	42.097.906	35.514.259
649.889	-0.023742322	-0.85373968	-0.14747228	14.985.168	0.012922287	0.0040113926	41.901.129	3.551.421
64.989	-0.018273683	-0.85485804	-0.10511658	14.943.451	0.013643503	0.0051379204	42.006.821	3.551.416
649.891	-0.021300755	-0.85735095	-0.063482828	14.753.721	0.011855364	0.0047922134	42.133.163	35.514.111
649.892	-0.040985513	-0.85816318	-0.020637885	1.478.458	0.010621548	0.0030338764	42.165.436	35.514.061
649.893	-0.048052587	-0.86318022	0.016258525	14.664	0.011450052	0.0012814999	4.198.649	35.514.011
649.894	-0.053234324	-0.87135243	0.053566616	1.476.458	0.012087822	0.0009894371	42.388.782	35.513.962
649.895	-0.050300933	-0.87484497	0.092372283	14.709.146	0.012803078	0.00092983246	41.827.167	35.513.912
649.896	-0.040341455	-0.87818134	0.12971021	14.523.989	0.015097857	0.0024855137	42.175.467	35.513.863
649.897	-0.032706439	-0.88140523	0.15867126	14.503.416	0.016307831	0.0032246113	42.319.998	35.513.817
649.898	-0.038063832	-0.87703174	0.18703568	14.419.981	0.01218915	0.0028669834	42.071.552	35.513.767
649.899	-0.044943541	-0.87203348	0.20711271	14.359.405	0.012403727	0.0026285648	41.985.544	35.513.718
64.99	-0.054949861	-0.86296153	0.22245838	14.377.692	0.013172626	0.00064373016	42.434.183	35.513.668
649.901	-0.061185513	-0.84928495	0.23421225	14.354.833	0.0096976757	5,96E+01	41.901.788	35.513.618
649.902	-0.065945692	-0.83062261	0.23806059	14.199.393	0.0094354153	-0.00059008598	42.347.833	35.513.561
649.903	-0.066279426	-0.80020797	0.23816203	14.050.238	0.0085830688	-0.0013709068	42.094.708	35.513.504
649.904	-0.061232354	-0.77108669	0.23397955	13.820.505	0.0097811222	-0.0015318394	41.984.985	35.513.443

649.905	-0.070483372	-0.74045336	0.22070424	13.833.078	0.0078439713	-0.0020980835	42.451.215	35.513.386
649.906	-0.070266731	-0.71343762	0.20093149	13.674.208	0.0086903572	-0.0031590462	41.887.033	35.513.329
649.907	-0.062520474	-0.68185467	0.1780562	13.571.343	0.010675192	-0.0034928322	42.321.103	35.513.271
649.908	-0.036102381	-0.64988428	0.15155928	13.429.618	0.0088453293	-0.0037133694	42.327.734	35.513.214
649.909	-0.0034135077	-0.62481165	0.12347529	13.374.186	0.0075817108	-0.0067651272	41.961.456	35.513.153
64.991	0.029035307	-0.59865183	0.092927158	13.333.039	0.01052618	-0.0097751617	42.371.848	35.513.096
649.911	0.055828124	-0.57378531	0.066472009	13.162.168	0.010490417	-0.0098228455	42.262.387	35.513.039
649.912	0.077638268	-0.55454189	0.033280753	1.310.845	0.0093519688	-0.0096261501	42.000.955	35.512.981
649.913	0.094735086	-0.53303045	-0.00048328089	13.165.026	0.0078558922	-0.0085115433	42.513.666	35.512.924
649.914	0.097650908	-0.50892621	-0.031323761	13.043.302	0.0074267387	-0.010257959	41.909.427	35.512.867
649.915	0.079734385	-0.49098232	-0.067426637	13.053.589	0.0088334084	-0.0096917152	42.267.841	35.512.806
649.916	0.069979832	-0.47518146	-0.099096455	1.291.072	0.010240078	-0.0095367432	42.333.203	35.512.749
649.917	0.07694152	-0.45410743	-0.12703128	12.800.997	0.0087440014	-0.01026392	42.360.675	35.512.691
649.918	0.095560648	-0.43113402	-0.15469763	12.710.705	0.0066161156	-0.010555983	42.278.973	35.512.634
649.919	0.10614076	-0.40725467	-0.18094991	12.539.263	0.0055670738	-0.012743473	4.207.196	35.512.577
64.992	0.1181788	-0.38017642	-0.20635498	12.401.538	0.0075757504	-0.015872717	4.212.197	35.512.516
649.921	0.12645787	-0.3512238	-0.23301896	12.264.384	0.0075757504	-0.017356873	42.185.956	35.512.459
649.922	0.13530488	-0.32502025	-0.2632091	12.141.517	0.0047147274	-0.019109249	42.117.978	35.512.402
649.923	0.14653492	-0.29363722	-0.29505193	11.914.643	0.0061511993	-0.019228458	41.871.759	35.512.344
649.924	0.15386547	-0.26647773	-0.32958564	12.023.222	0.0074982643	-0.018852949	42.429.272	35.512.287
649.925	0.17221527	-0.24043038	-0.36809298	11.895.213	0.0048577785	-0.017380714	41.995.923	35.512.226
649.926	0.19876802	-0.21693842	-0.406481	11.624.906	0.0025629997	-0.014835596	4.220.061	35.512.169
649.927	0.21082363	-0.19973804	-0.4489978	11.659.765	0.0021576881	-0.015842915	4.215.072	35.512.112
649.928	0.21382141	-0.1843558	-0.48906237	11.556.901	0.0015616417	-0.017511845	42.136.316	35.512.054
649.929	0.21204732	-0.17525265	-0.53159708	11.465.465	0.0023782253	-0.017535686	41.828.281	35.511.997
64.993	0.2034228	-0.16965456	-0.57494318	1.133.574	0.0029087067	-0.017565489	42.648.264	35.511.936

649.931	0.17703399	-0.16215712	-0.61521065	11.283.165	0.0031530857	-0.019043684	41.951.602	35.511.879
649.932	0.15201527	-0.16240704	-0.65384924	1.131.231	0.0067770481	-0.021928549	42.101.129	35.511.822
649.933	0.12378795	-0.16065139	-0.68251795	1.112.201	0.0066995621	-0.024306774	42.279.492	35.511.765
649.934	0.10618175	-0.16395026	-0.70910436	10.850.559	0.0055968761	-0.024980307	41.989.316	35.511.707
649.935	0.091093227	-0.16862367	-0.72587597	10.737.979	0.0044941902	-0.026041269	42.261.655	3.551.165
649.936	0.071777344	-0.17723948	-0.7369855	10.677.403	0.00092387199	-0.026220083	42.235.196	35.511.589
649.937	0.063714907	-0.18135057	-0.73726588	10.401.382	-0.00067949295	-0.026297569	41.863.022	35.511.532
649.938	0.057976935	-0.18497433	-0.72879952	10.251.656	0.0013053417	-0.027859211	42.543.097	35.511.475
649.939	0.058012065	-0.19779496	-0.72249299	10.220.797	0.0043451786	-0.030863285	41.899.509	35.511.417
64.994	0.056132585	-0.21031567	-0.70788717	10.052.783	0.0054299831	-0.032132864	42.312.979	3.551.136
649.941	0.046904992	-0.21956876	-0.69032204	0.99007714	0.0022113323	-0.031208992	42.249.207	35.511.299
649.942	0.045341685	-0.23821865	-0.67276877	0.9828766	0.0015974045	-0.03015995	42.006.946	35.511.242
649.943	0.037027482	-0.25504416	-0.65312135	0.97144711	-0.0007212162	-0.030046701	42.361.728	35.511.185
649.944	0.041055772	-0.27281934	-0.6268869	0.9561888	0.0032365322	-0.037199259	4.244.368	35.511.127
649.945	0.05511966	-0.29233143	-0.60462618	0.951217	0.0022768974	-0.038683414	41.951.242	3.551.107
649.946	0.074400418	-0.31224337	-0.57979387	0.93858743	-0.00074505806	-0.03862381	42.633.203	35.511.009
649.947	0.098581865	-0.32791302	-0.54799879	0.91618568	-0.00050067902	-0.036287308	41.850.671	35.510.952
649.948	0.10084778	-0.3477625	-0.52103049	0.91418552	0.0013232231	-0.037151575	42.443.567	35.510.895
649.949	0.09638036	-0.37046725	-0.49487963	0.90207028	0.0039339066	-0.035065413	42.102.631	35.510.838
64.995	0.099038564	-0.3889859	-0.46971324	0.88704056	0.0036895275	-0.036025047	42.564.108	3.551.078
649.951	0.087170333	-0.40548027	-0.44680214	0.88544041	0.0042319298	-0.036782026	4.207.652	35.510.719
649.952	0.068890788	-0.42680424	-0.42895058	0.86578172	-0.00029802322	-0.038087368	42.269.464	35.510.662
649.953	0.053398266	-0.44993386	-0.41423735	0.84852326	-0.0023841858	-0.039255619	41.759.116	35.510.605
649.954	0.042162381	-0.47043934	-0.39527008	0.81909239	-0.00091791153	-0.042814016	42.460.028	35.510.548
649.955	0.037876468	-0.49387509	-0.37857005	0.81726366	-0.00056028366	-0.044727325	41.981.369	3.551.049
649.956	0.026734265	-0.51680475	-0.3583498	0.80166245	-0.00077486038	-0.046598911	42.127.847	35.510.433

649.957	0.011423248	-0.53682917	-0.34129775	0.78514689	0.00012516975	-0.046485662	42.221.649	35.510.372
649.958	0.0030387829	-0.55634749	-0.32586855	0.75971633	-0.00069737434	-0.045144558	42.220.099	35.510.315
649.959	-0.014924581	-0.57939589	-0.31429368	0.75228721	-0.0020980835	-0.045585632	4.192.388	35.510.258
64.996	-0.049803253	-0.6034252	-0.30642992	0.7298283	-0.0021874905	-0.046336651	42.342.883	35.510.201
649.961	-0.088850737	-0.62308723	-0.2976712	0.72828531	0.0012099743	-0.045979023	42.272.168	35.510.143
649.962	-0.12783967	-0.64380515	-0.29166302	0.70159751	0.0016152859	-0.046807528	41.985.834	35.510.082
649.963	-0.14909944	-0.66429812	-0.28752232	0.67496687	0.00078082085	-0.048875809	42.491.409	35.510.025
649.964	-0.16168785	-0.68127358	-0.2858696	0.66370887	-0.0001013279	-0.05005002	42.078.812	35.509.968
649.965	-0.15621921	-0.69167632	-0.28545791	0.66016573	-0.0033318996	-0.051301718	42.093.048	35.509.911
649.966	-0.1477235	-0.70239764	-0.28781465	0.62770605	-0.0038444996	-0.053018332	42.252.444	35.509.853
649.967	-0.12549178	-0.70980138	-0.29120955	0.61107618	-0.0039577484	-0.051212311	42.042.764	35.509.792
649.968	-0.1044428	-0.71313769	-0.29335746	0.6171338	-0.0021994114	-0.053060055	42.260.614	35.509.735
649.969	-0.092275955	-0.71711761	-0.29663903	0.60810453	-0.0020742416	-0.04966259	42.285.486	35.509.678
64.997	-0.076830268	-0.71874827	-0.29670465	0.59118891	-0.0033855438	-0.049859285	42.017.981	35.509.621
649.971	-0.063205518	-0.71721131	-0.29533237	0.5699873	-0.0022649765	-0.049555302	42.467.236	35.509.563
649.972	-0.054510731	-0.71156949	-0.28916308	0.54261369	-0.0028431416	-0.048613548	42.050.882	35.509.506
649.973	-0.032314148	-0.7052654	-0.28474194	0.5311271	-0.0038087368	-0.048422813	42.195.663	35.509.445
649.974	0.0019146089	-0.69786167	-0.28142461	0.52564096	-0.0021159649	-0.049930811	42.589.737	35.509.388
649.975	0.035710093	-0.69062662	-0.2715084	0.53198433	-0.0046730042	-0.052404404	41.952.161	35.509.331
649.976	0.056220412	-0.6863656	-0.26357901	0.48735225	-0.0064074993	-0.055807829	42.395.016	35.509.274
649.977	0.062971309	-0.6807425	-0.25329885	0.48695225	-0.0045597553	-0.057560205	4.231.741	35.509.216
649.978	0.050611254	-0.67964292	-0.2456857	0.46609345	-0.0040352345	-0.059342384	42.106.003	35.509.155
649.979	0.039269976	-0.67328256	-0.23675394	0.45409253	-0.0061035156	-0.061321259	42.582.532	35.509.098
64.998	0.028982611	-0.66366708	-0.23260131	0.45797855	-0.0059306622	-0.063228607	41.843.292	35.509.041
649.981	0.012939712	-0.65134633	-0.23591268	0.43140504	-0.0049054623	-0.062382221	40.480.157	35.508.984
649.982	0.013173915	-0.62990987	-0.23254761	0.42963347	-0.0039935112	-0.061702728	42.512.177	35.508.926

649.983	0.0015457394	-0.61147869	-0.23986246	0.42260435	-0.0036776066	-0.058591366	42.280.353	35.508.865
649.984	-0.016698668	-0.58481276	-0.24066196	0.38523	-0.0034570694	-0.058245659	42.246.939	35.508.808
649.985	-0.036371715	-0.56307644	-0.24016674	0.38505858	-0.0004529953	-0.055849552	42.116.513	35.508.751
649.986	-0.058714673	-0.53189963	-0.22896178	0.38248694	-0.0018298626	-0.05645752	4.193.324	35.508.694
649.987	-0.091983199	-0.50058532	-0.22153358	0.37505779	-0.0062406063	-0.058913231	42.375.897	35.508.636
649.988	-0.13665155	-0.46656567	-0.20917711	0.37997246	-0.0082075596	-0.059336424	42.101.974	35.508.575
649.989	-0.16669978	-0.43260852	-0.19676095	0.35602775	-0.0085175037	-0.061917305	42.097.525	35.508.518
64.999	-0.19078755	-0.39038542	-0.18049647	0.36825725	-0.0067830086	-0.063717365	42.235.608	35.508.461
649.991	-0.21201806	-0.35679689	-0.16427374	0.36117101	-0.0067591667	-0.065952539	42.292.252	35.508.404
649.992	-0.22368136	-0.32362697	-0.14312275	0.33162585	-0.0063121319	-0.066649914	419.004	35.508.347
649.993	-0.23262206	-0.28815159	-0.1180876	0.32236797	-0.0066041946	-0.064355135	42.285.086	35.508.289
649.994	-0.23949006	-0.25515661	-0.089275703	0.32751122	-0.0072598457	-0.062650442	42.186.526	35.508.228
649.995	-0.24793307	-0.22541676	-0.061883822	0.31636751	-0.0046610832	-0.061070919	4.197.384	35.508.171
649.996	-0.26530507	-0.19819482	-0.0286866	0.30082345	-0.0062465668	-0.05979538	42.319.565	35.508.114
649.997	-0.28671709	-0.16719291	0.0082456078	0.29779464	-0.0070154667	-0.061023235	42.096.082	35.508.057
649.998	-0.3025609	-0.13988973	0.043650407	0.28870821	-0.0079870224	-0.061666965	42.020.297	35.507.999
649.999	-0.31601	-0.11215544	0.080284297	0.28047901	-0.011849403	-0.063228607	4.213.111	35.507.938
65	-0.32637933	-0.076305188	0.12034291	0.28425074	-0.010746717	-0.063925982	42.029.459	35.507.881
650.001	-0.34914386	-0.046709049	0.1570842	0.2752786	-0.010037422	-0.064074993	42.283.771	35.507.824
650.002	-0.35850614	-0.016994197	0.19798407	0.27996469	-0.0078558922	-0.06467104	42.211.804	35.507.698
650.003	-0.35817826	0.015975794	0.24600191	0.27099255	-0.00846982	-0.062322617	41.844.919	35.507.568
650.004	-0.35197774	0.050520249	0.29909122	0.26299194	-0.008559227	-0.061529875	42.450.644	35.507.442
650.005	-0.34084722	0.086407989	0.35639283	0.27676442	-0.010514259	-0.060772896	42.107.599	35.507.313
650.006	-0.32660183	0.12565708	0.42071095	0.26464918	-0.010478497	-0.060153008	42.088.831	35.507.187
650.007	-0.30200467	0.1658746	0.49091792	0.26687795	-0.0099718571	-0.061649084	42.491.037	35.507.057
650.008	-0.28254828	0.20386162	0.56076694	0.28270775	-0.013291836	-0.063431263	41.889.264	35.506.931

650.009	-0.26149341	0.23706904	0.63047874	0.25756294	-0.011152029	-0.062936544	42.289.462	35.506.802
65.001	-0.25158077	0.26865199	0.69936711	0.26162037	-0.012981892	-0.063931942	42.277.017	35.506.676
650.011	-0.2553573	0.29779831	0.76571387	0.2634491	-0.011479855	-0.066274405	42.142.191	35.506.546
650.012	-0.26080254	0.32046556	0.82499033	0.25561991	-0.0091731548	-0.066840649	42.420.181	3.550.642
650.013	-0.25902843	0.34476352	0.88645053	0.23024651	-0.011104345	-0.06660223	42.163.724	3.550.629
650.014	-0.24960177	0.37170431	0.94860286	0.2507624	-0.0077843666	-0.066387653	42.190.628	35.506.165
650.015	-0.24293284	0.38887346	1.001.901	0.23504689	-0.0086784363	-0.06172061	42.420.941	35.506.039
650.016	-0.23810826	0.40164408	10.467.209	0.24847651	-0.010496378	-0.059902668	42.255.371	35.505.909
650.017	-0.23459521	0.41781357	1.093.778	0.24704783	-0.014668703	-0.060385466	42.405.789	35.505.783
650.018	-0.24308507	0.43428919	11.314.203	0.23241811	-0.01335144	-0.059843063	42.091.309	35.505.653
650.019	-0.25529289	0.44704109	11.655.482	0.24321896	-0.013440847	-0.061106682	41.961.618	35.505.527
65.002	-0.27417552	0.46306685	11.957.264	0.23441827	-0.015670061	-0.064140558	4.210.397	35.505.398
650.021	-0.28630137	0.48286635	12.239.835	0.23801854	-0.011336803	-0.065857172	42.273.172	35.505.272
650.022	-0.30158311	0.49982929	12.475.091	0.23504689	-0.0088453293	-0.065225363	41.931.467	35.505.142
650.023	-0.32435936	0.51579887	12.621.149	0.23956153	-0.0082969666	-0.065618753	42.233.896	35.505.016
650.024	-0.3398343	0.53299922	12.779.438	0.24487622	-0.007891655	-0.064599514	42.159.164	35.504.887
650.025	-0.34745762	0.54946858	12.866.548	0.24613346	-0.0092327595	-0.064337254	41.905.792	35.504.761
650.026	-0.33814219	0.56431979	12.945.962	0.2539055	-0.014036894	-0.061929226	42.329.025	35.504.631
650.027	-0.32363915	0.57809007	13.006.282	0.25001949	-0.015628338	-0.060027838	42.295.923	35.504.505
650.028	-0.32015541	0.59304124	12.967.262	0.25441983	-0.018495321	-0.059956312	41.754.822	35.504.379
650.029	-0.31078142	0.60667408	12.879.078	0.25664857	-0.014740229	-0.059688091	42.258.133	3.550.425
65.003	-0.30045894	0.6198321	1.275.438	0.26104891	-0.010102987	-0.061434507	42.163.132	35.504.124
650.031	-0.29332745	0.63157809	12.591.436	0.26499209	-0.0085353851	-0.063323975	41.862.897	35.503.994
650.032	-0.29046431	0.63481444	1.235.266	0.25647712	-0.013822317	-0.064355135	42.363.736	35.503.868
650.033	-0.28569829	0.63881934	12.049.148	0.27122113	-0.019222498	-0.063472986	4.181.037	35.503.738
650.034	-0.28037605	0.64254934	11.706.078	0.27322128	-0.020027161	-0.062203407	42.289.993	35.503.613

650.035	-0.27782321	0.64006889	11.240.577	0.27139258	-0.016242266	-0.059640408	42.160.168	35.503.483
650.036	-0.27031118	0.6387006	10.762.784	0.2593345	-0.010746717	-0.059747696	41.960.339	35.503.357
650.037	-0.25694403	0.6349144	10.199.435	0.26927814	-0.0065803528	-0.059652328	42.323.691	35.503.227
650.038	-0.25596625	0.62815422	0.9604522	0.27893603	-0.009149313	-0.062197447	42.209.375	35.503.101
650.039	-0.25572619	0.62244368	0.90096688	0.27642155	-0.014704466	-0.063538551	41.968.176	35.502.975
65.004	-0.25653419	0.61639577	0.83937538	0.2847079	-0.01205802	-0.065940619	42.454.883	35.502.846
650.041	-0.26079082	0.60835475	0.77464557	0.28910825	-0.010234118	-0.068277121	41.919.083	3.550.272
650.042	-0.26119483	0.60363138	0.71685475	0.2996805	-0.012427568	-0.068098307	42.300.323	3.550.259
650.043	-0.26259416	0.59497184	0.65899229	0.31373873	-0.013828278	-0.066405535	42.328.391	35.502.464
650.044	-0.25542757	0.5779714	0.59954876	0.31516743	-0.013387203	-0.06608963	41.968.216	35.502.335
650.045	-0.26243022	0.55912155	0.54240227	0.3187677	-0.016587973	-0.06390214	42.381.268	35.502.209
650.046	-0.26894107	0.53848487	0.48805404	0.32031068	-0.018906593	-0.064367056	42.172.787	35.502.079
650.047	-0.27822721	0.51651734	0.44216025	0.33099723	-0.017505884	-0.062763691	42.207.083	35.501.953
650.048	-0.28751338	0.48648387	0.39726883	0.32865417	-0.014591217	-0.06364584	42.290.085	35.501.823
650.049	-0.29257801	0.45666903	0.36070058	0.34848431	-0.010377169	-0.064575672	42.321.695	35.501.698
65.005	-0.29376072	0.42023775	0.32785538	0.32979712	-0.01591444	-0.065153837	42.181.308	35.501.568
650.051	-0.27616623	0.3851622	0.30157921	0.33614048	-0.01924634	-0.06570816	42.084.253	35.501.442
650.052	-0.2431085	0.35294822	0.28146636	0.35214174	-0.021958351	-0.064796209	41.842.825	35.501.316
650.053	-0.21488704	0.32248986	0.26616845	0.34871289	-0.020444393	-0.066179037	42.067.398	35.501.186
650.054	-0.20105736	0.28747684	0.25285137	0.34756994	-0.015211105	-0.066816807	42.455.084	3.550.106
650.055	-0.20337011	0.24668451	0.24422392	0.35745642	-0.011485815	-0.067037344	41.770.956	35.500.931
650.056	-0.21541986	0.20982209	0.24320963	0.35008442	-0.01372695	-0.069707632	42.221.832	35.500.805
650.057	-0.22826588	0.17403431	0.24479669	0.37025744	-0.013774633	-0.070494413	42.071.561	35.500.675
650.058	-0.23870547	0.13590358	0.25198624	0.37060031	-0.013965368	-0.072336197	4.207.626	35.500.549
650.059	-0.24950223	0.10189645	0.26265422	0.3675715	-0.018173456	-0.074273348	42.147.238	3.550.042
65.006	-0.25555053	0.063765727	0.27276734	0.37248617	-0.021129847	-0.074285269	42.524.115	35.500.294

650.061	-0.25305626	0.022754729	0.28052965	0.38603008	-0.020140409	-0.071418285	41.752.222	35.500.164
650.062	-0.25252929	-0.016894231	0.29563069	0.39054471	-0.016647577	-0.068503618	42.405.545	35.500.038
650.063	-0.26286352	-0.054687575	0.31811219	0.38574433	-0.018638372	-0.067383051	42.230.029	35.499.908
650.064	-0.27031118	-0.091050155	0.34545037	0.39197341	-0.019598007	-0.070828199	42.033.859	35.499.783
650.065	-0.26355439	-0.12519474	0.38379067	0.39883107	-0.021529198	-0.072127581	42.398.364	35.499.657
650.066	-0.25913382	-0.1569339	0.42510819	0.3983739	-0.019419193	-0.074982643	42.013.873	35.499.527
650.067	-0.24919777	-0.18786085	0.46922997	0.40826038	-0.018197298	-0.075083971	42.368.597	35.499.401
650.068	-0.24638733	-0.21428308	0.5217405	0.41608956	-0.016450882	-0.076937675	42.196.851	35.499.271
650.069	-0.25821459	-0.24023046	0.57159603	0.38974467	-0.01796484	-0.077170134	42.080.042	35.499.146
65.007	-0.28578025	-0.26384115	0.62455404	0.43603396	-0.0200212	-0.07442832	42.291.098	35.499.016
650.071	-0.32641447	-0.2864022	0.67754787	0.4215757	-0.01706481	-0.07494688	4.232.341	3.549.889
650.072	-0.36164445	-0.30501458	0.73214072	0.42483312	-0.016760826	-0.073713064	41.939.798	3.549.876
650.073	-0.39511204	-0.31889111	0.78676939	0.42780477	-0.013589859	-0.073885918	4.254.462	35.498.634
650.074	-0.4273091	-0.32490778	0.83396387	0.42980492	-0.018388033	-0.074672699	41.826.569	35.498.505
650.075	-0.45061228	-0.33449826	0.87498307	0.45706418	-0.021415949	-0.073999166	42.236.798	35.498.379
650.076	-0.47184864	-0.34615678	0.91073394	0.44083434	-0.020062923	-0.07622242	42.443.726	35.498.249
650.077	-0.47547293	-0.34906828	0.94221878	0.44117725	-0.017130375	-0.077909231	42.070.889	35.498.123
650.078	-0.48584813	-0.35809645	0.96974194	0.43449101	-0.014257431	-0.079202652	42.549.542	35.497.997
650.079	-0.50158656	-0.35968342	0.99885809	0.46357897	-0.017595291	-0.082147121	42.027.164	35.497.868
65.008	-0.525446	-0.36033943	10.208.145	0.4463205	-0.018668175	-0.083148479	42.880.582	35.497.742
650.081	-0.56649005	-0.36308226	10.411.482	0.46260747	-0.020766258	-0.082409382	44.616.278	35.497.612
650.082	-0.58215821	-0.3517049	10.745.482	0.44483465	-0.021398067	-0.082778931	42.172.888	35.497.486
650.083	-0.60655046	-0.35014918	1.088.981	0.45969296	-0.017940998	-0.083321333	42.203.412	35.497.356
650.084	-0.59137994	-0.34200194	11.052.157	0.47117957	-0.014102459	-0.083136559	42.310.504	35.497.231
650.085	-0.57773179	-0.33349237	11.190.697	0.47043666	-0.015097857	-0.08289814	41.890.707	35.497.101
650.086	-0.56866229	-0.31793517	11.426.073	0.47135103	-0.014317036	-0.082558393	42.172.998	35.496.975

650.087	-0.55898386	-0.30217806	11.634.779	0.48232329	-0.016236305	-0.08225441	42.284.293	35.496.845
650.088	-0.53608465	-0.27714285	11.899.331	0.48935241	-0.018870831	-0.084203482	42.053.214	35.496.719
650.089	-0.50272828	-0.25213888	1.208.065	0.480266	-0.018578768	-0.085902214	4.216.012	35.496.593
65.009	-0.46294308	-0.21827546	12.215.968	0.48055172	-0.018334389	-0.086265802	42.306.384	35.496.464
650.091	-0.41955698	-0.18256265	12.270.561	0.48855236	-0.019204617	-0.086903572	41.997.919	35.496.338
650.092	-0.37376446	-0.14380714	12.270.502	0.50078189	-0.01924634	-0.086051226	42.202.914	35.496.208
650.093	-0.33410218	-0.10303981	12.159.526	0.49906746	-0.016576052	-0.085699558	42.493.951	35.496.082
650.094	-0.29743186	-0.058492526	11.959.711	0.49975324	-0.018388033	-0.086706877	41.820.682	35.495.953
650.095	-0.25699672	-0.011839706	11.658.287	0.49283841	-0.01847744	-0.087767839	42.255.469	35.495.827
650.096	-0.20572385	0.03715606	11.193.024	0.49918175	-0.020098686	-0.090277195	42.211.679	35.495.697
650.097	-0.16629578	0.086401746	10.613.147	0.49746734	-0.019973516	-0.091332197	41.873.419	35.495.571
650.098	-0.14792258	0.13246101	0.99348831	0.49140972	-0.018012524	-0.091528893	42.326.111	35.495.441
650.099	-0.13608946	0.17304716	0.91487461	0.47437984	-0.016087294	-0.089710951	41.872.406	35.495.316
65.01	-0.1444388	0.21368952	0.83798522	0.47998026	-0.018376112	-0.089520216	42.363.031	35.495.186
650.101	-0.16160002	0.25242004	0.7627008	0.48135179	-0.018757582	-0.089401007	42.187.466	3.549.506
650.102	-0.16549364	0.29078194	0.68944496	0.47912306	-0.015586615	-0.091534853	42.081.616	35.494.976
650.103	-0.17070466	0.32850656	0.62036562	0.48889524	-0.01758337	-0.093084574	42.287.341	35.494.892
650.104	-0.18875585	0.36077678	0.55602366	0.45877862	-0.022435188	-0.092744827	42.399.094	35.494.812
650.105	-0.19814739	0.39262217	0.49706337	0.44043431	-0.021499395	-0.092291832	41.793.765	35.494.728
650.106	-0.20058896	0.42571086	0.44911712	0.4428345	-0.023943186	-0.093173981	42.656.113	35.494.644
650.107	-0.21828298	0.4563379	0.39976877	0.43797699	-0.021570921	-0.092822313	41.772.046	3.549.456
650.108	-0.22608194	0.48372856	0.35759208	0.43734837	-0.020873547	-0.094729662	42.273.383	3.549.448
650.109	-0.2173169	0.52184051	0.32710958	0.43060499	-0.018268824	-0.095647573	42.299.902	35.494.396
65.011	-0.21017957	0.55900288	0.29487294	0.43866277	-0.018000603	-0.09726882	42.136.563	35.494.312
650.111	-0.20456454	0.59296	0.26047647	0.43917707	-0.018149614	-0.10027885	42.245.651	35.494.228
650.112	-0.19315886	0.62666726	0.23171231	0.42203289	-0.01502037	-0.099593401	42.301.776	35.494.148

650.113	-0.16735555	0.66134292	0.19896854	0.42243293	-0.014555454	-0.10042787	42.367.557	35.494.064
650.114	-0.13333759	0.69017053	0.16095641	0.40591735	-0.013875961	-0.10076761	42.161.703	3.549.398
650.115	-0.082954675	0.71422482	0.12518169	0.39260203	-0.015443563	-0.099128485	42.196.457	35.493.896
650.116	-0.050096005	0.73997229	0.090468995	0.3970595	-0.015825033	-0.096541643	42.092.044	35.493.813
650.117	-0.021593509	0.75402999	0.05218837	0.38517287	-0.016105175	-0.097179413	42.349.243	35.493.732
650.118	-0.0078984937	0.76403284	0.023722529	0.3694002	-0.016874075	-0.099819899	41.779.382	35.493.649
650.119	-0.010322494	0.77100545	-0.0070344219	0.36934307	-0.012713671	-0.10430217	42.222.055	35.493.565
65.012	-0.017916525	0.77494788	-0.031007541	0.35711354	-0.015050173	-0.10647774	42.246.753	35.493.481
650.121	-0.020071192	0.77316093	-0.054181159	0.3504273	-0.015032291	-0.10764599	42.163.788	35.493.401
650.122	-0.0029333916	0.76473886	-0.072611466	0.35202745	-0.017493963	-0.10427237	41.927.252	35.493.317
650.123	0.013689161	0.76351428	-0.081972793	0.32631114	-0.015968084	-0.1044035	42.413.251	35.493.233
650.124	0.030891366	0.75810361	-0.085946441	0.31328157	-0.015360117	-0.10589361	41.748.181	35.493.149
650.125	0.035370495	0.75367385	-0.07933563	0.30888122	-0.014007092	-0.10640621	42.299.222	35.493.069
650.126	0.031031888	0.74377102	-0.068906307	0.28985116	-0.016504526	-0.10477901	42.338.608	35.492.985
650.127	0.020750379	0.73731071	-0.057200175	0.28499365	-0.015622377	-0.10440946	41.967.783	35.492.901
650.128	0.025346613	0.73167515	-0.045171849	0.26133466	-0.014716387	-0.10533333	42.042.673	35.492.817
650.129	0.040259484	0.72313428	-0.037057504	0.26556355	-0.014984608	-0.10614395	42.343.939	35.492.733
65.013	0.058767371	0.72555846	-0.02927131	0.25607711	-0.013226271	-0.10759234	41.694.397	35.492.653
650.131	0.08947137	0.72032899	-0.037833139	0.23950438	-0.011098385	-0.10949373	42.476.694	35.492.569
650.132	0.10610563	0.71684271	-0.047385395	0.23281814	-0.012671947	-0.1096487	41.837.543	35.492.485
650.133	0.11505219	0.71596801	-0.061072387	0.22287451	-0.016748905	-0.10902286	42.329.507	35.492.401
650.134	0.12127613	0.71293151	-0.073637687	0.19841546	-0.020855665	-0.10964274	42.180.093	35.492.321
650.135	0.11852425	0.70292246	-0.088523932	0.19595812	-0.02015233	-0.1085043	42.038.956	35.492.237
650.136	0.13380013	0.69739306	-0.10201403	0.17144193	-0.014442205	-0.11107922	42.200.177	35.492.153
650.137	0.1308199	0.69121397	-0.11740743	0.16612723	-0.01283288	-0.11449456	42.385.782	35.492.069
650.138	0.10744059	0.67530066	-0.13343923	0.14281113	-0.01578331	-0.11755824	41.769.901	35.491.989

650.139	0.079617284	0.66199893	-0.14107625	0.12012365	-0.015592575	-0.1193583	42.671.088	35.491.905
65.014	0.057760298	0.64158714	-0.15481696	0.10109359	-0.014317036	-0.1206398	41.958.331	35.491.821
650.141	0.021540815	0.62015074	-0.16527013	0.075434446	-0.01475215	-0.12212992	42.370.868	35.491.737
650.142	-0.01566232	0.59579027	-0.16993588	0.062519155	-0.019878149	-0.12140274	42.218.588	35.491.653
650.143	-0.040593222	0.57612199	-0.16775218	0.055832922	-0.019049644	-0.12170672	42.113.712	35.491.573
650.144	-0.066794671	0.5543794	-0.16066405	0.030459516	-0.016832352	-0.12074113	42.254.526	35.491.489
650.145	-0.071689516	0.53333038	-0.15040776	0.0070862663	-0.015437603	-0.12245774	42.463.678	35.491.405
650.146	-0.073914446	0.5199787	-0.13286048	0.0057147308	-0.015324354	-0.12519956	42.251.105	35.491.322
650.147	-0.065939836	0.50228471	-0.11420942	-0.0079434766	-0.015830994	-0.12619495	42.361.023	35.491.241
650.148	-0.075466037	0.48922044	-0.092718333	-0.018344287	-0.014650822	-0.12316108	4.204.823	35.491.158
650.149	-0.098763376	0.47853658	-0.066400409	-0.053261295	-0.01552701	-0.12338161	42.129.904	35.491.074
65.015	-0.10922639	0.46727791	-0.037761543	-0.049489573	-0.016504526	-0.12509227	42.081.378	3.549.099
650.151	-0.10980019	0.4575375	-0.0069091269	-0.085035197	-0.016874075	-0.12555718	42.040.283	35.490.906
650.152	-0.072661459	0.44912162	0.029718792	-0.098750554	-0.014102459	-0.12537837	41.884.753	35.490.826
650.153	-0.021324176	0.43653217	0.06638848	-0.11092293	-0.015205145	-0.12549758	42.476.791	35.490.742
650.154	0.028080931	0.42043766	0.10651869	-0.13001013	-0.014907122	-0.12797117	41.916.232	35.490.658
650.155	0.070694156	0.40459934	0.15854597	-0.14441125	-0.017160177	-0.12926459	4.213.837	35.490.574
650.156	0.073393345	0.38742393	0.21216628	-0.1584695	-0.017428398	-0.13073683	42.191.312	35.490.494
650.157	0.079980299	0.3676807	0.27082822	-0.18795751	-0.017696619	-0.13250709	42.099.094	3.549.041
650.158	0.089248881	0.35002422	0.33178726	-0.19972984	-0.017595291	-0.13462305	42.072.827	35.490.326
650.159	0.096204706	0.33274886	0.39460781	-0.22316025	-0.017786026	-0.13539195	42.541.791	35.490.242
65.016	0.10642181	0.31279942	0.45372918	-0.27167833	-0.019711256	-0.13677478	41.916.205	35.490.162
650.161	0.11024518	0.29194406	0.51588148	-0.27516431	-0.021106005	-0.13498068	4.213.692	35.490.078
650.162	0.10059601	0.27340662	0.58056951	-0.2847079	-0.020980835	-0.13635159	42.419.611	35.489.994
650.163	0.078469694	0.26384738	0.65007246	-0.31522456	-0.022065639	-0.13510585	41.866.022	3.548.991
650.164	0.043468062	0.25637496	0.71534526	-0.33808348	-0.021034479	-0.13424754	42.528.079	35.489.826

650.165	0.0049943775	0.24896498	0.77334493	-0.34654129	-0.018817186	-0.13571978	41.966.751	35.489.746
650.166	-0.045862786	0.24711561	0.82905942	-0.37048602	-0.01732707	-0.13713837	42.276.755	35.489.662
650.167	-0.09135671	0.24997088	0.87328857	-0.39225915	-0.017595291	-0.13769269	42.243.332	35.489.578
650.168	-0.1293093	0.25273246	0.90879482	-0.39820245	-0.017309189	-0.14102459	42.059.521	35.489.494
650.169	-0.16545266	0.26192304	0.94091213	-0.42323297	-0.018268824	-0.14320016	42.257.959	35.489.414
65.017	-0.18637869	0.2680397	0.96445566	-0.43340519	-0.022852421	-0.14307499	42.468.115	3.548.933
650.171	-0.19080512	0.28029177	0.9829874	-0.45672131	-0.021266937	-0.14510751	41.939.105	35.489.246
650.172	-0.20119202	0.29454941	0.99592263	-0.46929371	-0.020104647	-0.14491677	42.478.058	35.489.162
650.173	-0.22218247	0.31391156	10.060.059	-0.48649505	-0.017517805	-0.14539361	42.103.571	35.489.082
650.174	-0.2433427	0.3300373	10.081.598	-0.4962101	-0.016486645	-0.14656186	42.288.498	35.488.998
650.175	-0.2595261	0.34943068	1.002.611	-0.51323998	-0.020647049	-0.14771223	42.532.767	35.488.914
650.176	-0.28390664	0.36184517	0.98589903	-0.52986985	-0.022292137	-0.14837384	41.908.594	35.488.831
650.177	-0.31363285	0.3798078	0.97080988	-0.54952854	-0.024217367	-0.14905334	42.532.956	35.488.747
650.178	-0.32916051	0.39550245	0.94658023	-0.56215811	-0.024664402	-0.14756322	42.069.394	35.488.667
650.179	-0.32695898	0.41635156	0.91822177	-0.59547496	-0.021201372	-0.14898181	42.744.461	35.488.583
65.018	-0.32540154	0.44205528	0.88582408	-0.59907526	-0.020062923	-0.14796853	41.871.423	35.488.499
650.181	-0.32972258	0.46644071	0.84685731	-0.6079331	-0.020480156	-0.14690161	40.199.512	35.488.415
650.182	-0.32161918	0.50540239	0.8138749	-0.63284934	-0.022298098	-0.14813542	42.215.387	35.488.335
650.183	-0.3278724	0.53677917	0.76034403	-0.65690833	-0.024020672	-0.15012622	42.240.131	35.488.251
650.184	-0.32902583	0.57242328	0.70389563	-0.67599553	-0.024080276	-0.15206933	42.090.628	35.488.167
650.185	-0.31988606	0.6076737	0.64355713	-0.67885292	-0.024348497	-0.15287995	41.925.293	35.488.083
650.186	-0.30796513	0.64872843	0.58004451	-0.6886251	-0.020897388	-0.15352964	42.324.796	35.488.003
650.187	-0.2968815	0.68294179	0.50409776	-0.7166844	-0.018441677	-0.15291572	42.013.739	35.487.919
650.188	-0.28467366	0.71912318	0.42874175	-0.73497158	-0.019490719	-0.15386343	4.216.012	35.487.835
650.189	-0.26404038	0.75292414	0.34628567	-0.77086008	-0.021874905	-0.15584826	42.344.397	35.487.751
65.019	-0.2501463	0.78703749	0.25881779	-0.77680337	-0.023388863	-0.15704632	42.102.271	35.487.667

650.191	-0.23255765	0.8170647	0.16552669	-0.82086396	-0.022506714	-0.15932322	42.086.688	35.487.587
650.192	-0.22462988	0.84414923	0.067402773	-0.83320779	-0.022488832	-0.16181469	42.386.911	35.487.503
650.193	-0.20120373	0.86727881	-0.036311697	-0.82354987	-0.021785498	-0.15989542	42.048.315	35.487.419
650.194	-0.17781857	0.88448542	-0.14075407	-0.84600878	-0.02477169	-0.15784502	41.993.704	35.487.335
650.195	-0.17124918	0.90554702	-0.24518451	-0.85686678	-0.024187565	-0.15617013	42.494.907	35.487.255
650.196	-0.17072222	0.92204762	-0.34863645	-0.8642388	-0.022208691	-0.15566349	41.868.674	35.487.171
650.197	-0.18192297	0.94185334	-0.44575205	-0.87326807	-0.022614002	-0.15655756	42.562.946	35.487.087
650.198	-0.20024936	0.95631719	-0.53480703	-0.88812637	-0.024747849	-0.15929937	41.943.158	35.487.003
650.199	-0.20163116	0.96618253	-0.6103301	-0.90887082	-0.025606155	-0.15953183	42.229.471	35.486.923
65.02	-0.18329892	0.97515446	-0.6756804	-0.90007013	-0.026386976	-0.16150475	42.262.769	35.486.839
650.201	-0.15867834	0.97974044	-0.72746307	-0.91601425	-0.024700165	-0.16674399	42.195.401	35.486.755
650.202	-0.13246517	0.98724413	-0.76457423	-0.93538719	-0.021129847	-0.16900897	42.278.391	3.548.666
650.203	-0.11184946	0.99427295	-0.79334438	-0.94093049	-0.019603968	-0.16812682	42.509.375	35.486.561
650.204	-0.107909	0.99407929	-0.81234151	-0.95636022	-0.018405914	-0.16630292	41.797.525	35.486.465
650.205	-0.10826616	0.98979324	-0.82348084	-0.96556097	-0.022894144	-0.16489625	42.679.532	35.486.366
650.206	-0.091614328	0.98379529	-0.82800341	-0.98219085	-0.028920174	-0.16551614	42.268.671	35.486.271
650.207	-0.080958098	0.97642905	-0.82688767	-0.98870564	-0.027912855	-0.16668439	42.370.706	35.486.176
650.208	-0.059914965	0.96635121	-0.82575405	-10.119.646	-0.028222799	-0.16670823	42.526.721	35.486.076
650.209	-0.032290727	0.95827901	-0.82203096	-10.238.512	-0.024670362	-0.16496778	42.065.527	35.485.981
65.021	-0.022717685	0.94549584	-0.81654185	-10.243.084	-0.020140409	-0.16412139	42.423.233	35.485.882
650.211	-0.033332933	0.92321599	-0.80656004	-10.329.376	-0.017821789	-0.16456246	42.227.698	35.485.786
650.212	-0.048116989	0.89748728	-0.7919423	-10.440.242	-0.025641918	-0.1663506	42.583.759	35.485.687
650.213	-0.061823718	0.87665063	-0.76276642	-10.525.391	-0.029176474	-0.17018318	42.230.527	35.485.592
650.214	-0.09156163	0.85785705	-0.72305387	-10.683.689	-0.029820204	-0.17154217	42.278.146	35.485.497
650.215	-0.12264036	0.83182842	-0.67540592	-10.766.554	-0.028854609	-0.17083883	41.945.935	35.485.397
650.216	-0.15443927	0.80978596	-0.61457819	-10.904.279	-0.028932095	-0.171417	4.254.581	35.485.302

650.217	-0.17470953	0.78405726	-0.54493201	-11.142.583	-0.028574467	-0.17225742	4.211.138	35.485.203
650.218	-0.19000298	0.75810361	-0.47021443	-11.210.016	-0.023972988	-0.17350912	42.267.545	35.485.107
650.219	-0.20751551	0.73162514	-0.38948265	-11.244.305	-0.021630526	-0.1706481	42.388.992	35.485.012
65.022	-0.21518564	0.71070731	-0.29674044	-11.355.742	-0.027370453	-0.17060041	42.264.743	35.484.913
650.221	-0.24135783	0.68134856	-0.20236941	-11.320.311	-0.02912879	-0.16787648	4.196.814	35.484.818
650.222	-0.27282298	0.65280831	-0.098768294	-11.462.036	-0.032836199	-0.16905069	42.464.059	35.484.718
650.223	-0.28656486	0.62703586	0.0076907296	-11.534.041	-0.033921003	-0.16949177	42.311.963	35.484.623
650.224	-0.31362113	0.60473722	0.11324883	-1.158.776	-0.033563375	-0.16673803	41.950.546	35.484.528
650.225	-0.3310107	0.58149517	0.21557312	-11.586.046	-0.033891201	-0.16804934	42.507.849	35.484.428
650.226	-0.33814219	0.55960262	0.31143576	-11.672.338	-0.034099817	-0.17180443	42.030.588	35.484.333
650.227	-0.34094092	0.54090279	0.4106575	-1.175.863	-0.03054142	-0.17441511	4.217.139	35.484.234
650.228	-0.3460758	0.52179056	0.50313717	-11.837.494	-0.029057264	-0.17518997	42.399.133	35.484.138
650.229	-0.3562285	0.50938857	0.58880919	-11.907.214	-0.030606985	-0.17659664	42.057.144	35.484.043
65.023	-0.36665052	0.50106013	0.67309099	-11.910.071	-0.033438206	-0.1744628	42.372.293	35.483.944
650.231	-0.37544486	0.49538708	0.75313663	-1.180.492	-0.033724308	-0.17142892	42.156.287	35.483.849
650.232	-0.39399374	0.4877272	0.82901174	-11.868.925	-0.029277802	-0.16825199	42.072.617	35.483.749
650.233	-0.42262504	0.47876775	0.90341908	-11.982.648	-0.023907423	-0.16579628	42.460.016	35.483.654
650.234	-0.45100456	0.47007072	0.97755796	-12.030.081	-0.024920702	-0.16497374	42.083.636	35.483.555
650.235	-0.46623948	0.46340424	10.500.083	-11.971.219	-0.031030178	-0.16436577	42.259.598	35.483.459
650.236	-0.46477571	0.46014285	1.117.244	-11.927.787	-0.036394596	-0.16548038	42.536.435	35.483.364
650.237	-0.46605796	0.45930564	1.181.944	-11.682.625	-0.040560961	-0.16646385	42.046.619	35.483.265
650.238	-0.47545537	0.45770618	12.387.862	-11.760.917	-0.040632486	-0.16889572	42.525.146	3.548.317
650.239	-0.47523871	0.45108971	12.818.936	-11.631.763	-0.039064884	-0.16986728	42.398.312	3.548.307
65.024	-0.46866348	0.44963396	13.176.087	-11.503.183	-0.034362078	-0.17064214	42.288.782	35.482.975
650.241	-0.46892697	0.44836563	13.405.974	-11.442.034	-0.028926134	-0.17111897	42.567.719	3.548.288
650.242	-0.46163738	0.45228305	1.353.461	-11.480.894	-0.027644634	-0.1707375	42.259.177	3.548.278

650.243	-0.43984482	0.4624733	13.581.506	-11.619.762	-0.028508902	-0.16893148	42.557.971	35.482.685
650.244	-0.40261826	0.47365075	13.529.538	-11.643.193	-0.032043457	-0.16790628	42.340.094	35.482.586
650.245	-0.37100086	0.48719612	13.369.937	-11.399.746	-0.036996603	-0.16885996	42.440.393	35.482.491
650.246	-0.35559031	0.49996677	13.166.124	-11.376.886	-0.038069487	-0.16884804	42.304.663	35.482.395
650.247	-0.3562929	0.51822305	12.928.301	-11.307.738	-0.039374828	-0.1691699	42.394.547	35.482.296
650.248	-0.34826562	0.53850985	12.633.262	-11.329.454	-0.036251545	-0.16681552	41.948.999	35.482.201
650.249	-0.32998607	0.55848426	12.269.906	-11.266.593	-0.029855967	-0.16735196	42.497.546	35.482.101
65.025	-0.29376659	0.58557504	11.874.689	-11.251.162	-0.031733513	-0.16688704	4.226.907	35.482.006
650.251	-0.24631122	0.61335927	11.433.829	-11.183.157	-0.03657937	-0.16866326	42.260.715	35.481.907
650.252	-0.19177121	0.63851947	10.933.962	-11.169.442	-0.037950277	-0.17012358	42.266.589	35.481.812
650.253	-0.14552198	0.65658826	10.424.668	-10.995.713	-0.037133694	-0.17051101	42.482.037	35.481.716
650.254	-0.12101851	0.67598164	0.99167454	-11.034.002	-0.033074617	-0.17113686	41.890.817	35.481.617
650.255	-0.10495219	0.69048297	0.93807209	-10.724.264	-0.033020973	-0.17003417	42.683.487	35.481.522
650.256	-0.0910054	0.7002421	0.88089579	-10.739.123	-0.036066771	-0.16912222	42.200.546	35.481.422
650.257	-0.083979316	0.70753336	0.82465619	-10.659.117	-0.038409233	-0.17002821	42.071.066	35.481.327
650.258	-0.082702905	0.71534324	0.77016479	-10.510.533	-0.040358305	-0.17210245	42.451.761	35.481.232
650.259	-0.089916356	0.71811104	0.70833468	-10.219.654	-0.040405989	-0.17132163	42.459.024	35.481.133
65.026	-0.096251547	0.71827346	0.6552096	-10.111.645	-0.038218498	-0.17248392	42.155.209	35.481.037
650.261	-0.10684337	0.72475249	0.59910125	-10.148.791	-0.035184622	-0.17256141	42.763.116	35.480.938
650.262	-0.11806755	0.72499615	0.54521841	-10.083.643	-0.032883883	-0.17274022	42.014.096	35.480.843
650.263	-0.13396408	0.72692049	0.48800036	-0.9928202	-0.034880638	-0.17154813	42.629.782	35.480.747
650.264	-0.14476083	0.7311191	0.43274525	-0.97813338	-0.035864115	-0.16925335	42.240.576	35.480.648
650.265	-0.16368443	0.73787302	0.37168479	-0.98356235	-0.038033724	-0.16866922	4.231.684	35.480.553
650.266	-0.18362094	0.73918509	0.31079137	-0.9539029	-0.037002563	-0.16644001	42.567.776	35.480.453
650.267	-0.183902	0.74617642	0.2537702	-0.95230275	-0.038069487	-0.16546845	42.274.686	35.480.358
650.268	-0.16579811	0.75612926	0.20363429	-0.95624596	-0.041586161	-0.16663074	42.333.621	35.480.263

650.269	-0.15150587	0.76032782	0.15389812	-0.92807233	-0.044447184	-0.16827583	42.600.436	35.480.164
65.027	-0.14754198	0.759803	0.11042073	-0.94270205	-0.043576956	-0.17026067	42.196.606	35.480.068
650.271	-0.16376054	0.75711018	0.074854843	-0.92527211	-0.039899349	-0.17104149	42.488.867	35.479.969
650.272	-0.18303545	0.74752599	0.045004789	-0.89829856	-0.035345554	-0.17296076	42.512.335	35.479.874
650.273	-0.1945231	0.73181885	0.02245168	-0.88944072	-0.03502965	-0.17468929	42.282.669	35.479.774
650.274	-0.18518426	0.71488714	0.010131	-0.87652546	-0.04222393	-0.17567277	42.634.369	35.479.679
650.275	-0.16414112	0.6938318	0.0034306978	-0.86406732	-0.046235323	-0.17620325	42.182.632	35.479.584
650.276	-0.13187967	0.66734087	0.00079950172	-0.86783904	-0.046008825	-0.17567873	42.638.742	35.479.485
650.277	-0.100637	0.63862568	0.0034903621	-0.85480946	-0.042337179	-0.17303228	42.448.636	35.479.389
650.278	-0.084547259	0.61498374	0.018997116	-0.85320932	-0.039744377	-0.17262101	42.580.649	3.547.929
650.279	-0.084072992	0.58813041	0.03692624	-0.8306933	-0.041252375	-0.17110705	42.292.538	35.479.195
65.028	-0.096520878	0.55684108	0.056418572	-0.81097746	-0.040954351	-0.1681447	42.518.872	35.479.099
650.281	-0.11549132	0.5244959	0.081489511	-0.84223706	-0.042694807	-0.16921759	43.978.217	35.479
650.282	-0.11885213	0.50279081	0.11846945	-0.81789231	-0.044465065	-0.16967058	42.265.262	35.478.905
650.283	-0.12063793	0.46915227	0.14599259	-0.80749148	-0.047028065	-0.17125607	42.568.597	35.478.806
650.284	-0.12812656	0.44293624	0.18744735	-0.80737722	-0.04440546	-0.17361045	42.139.676	3.547.871
650.285	-0.15361956	0.41702634	0.22936153	-0.77143157	-0.044262409	-0.17475486	42.544.312	35.478.615
650.286	-0.1849442	0.38941076	0.27892467	-0.77417463	-0.045704842	-0.175035	42.285.681	35.478.516
650.287	-0.22274455	0.35751539	0.32546285	-0.74485803	-0.042623281	-0.17384887	42.204.602	3.547.842
650.288	-0.25381157	0.32659471	0.37732902	-0.7325142	-0.040119886	-0.17273426	42.530.002	35.478.321
650.289	-0.26261175	0.29622385	0.43029302	-0.73725748	-0.039023161	-0.16987324	42.309.265	35.478.226
65.029	-0.25471324	0.26483455	0.48529756	-0.73822898	-0.041162968	-0.16977191	42.104.181	3.547.813
650.291	-0.24584867	0.23899338	0.54443085	-0.737086	-0.046491623	-0.170362	42.419.104	35.478.031
650.292	-0.23591846	0.21397068	0.59927428	-0.72554225	-0.044953823	-0.17305017	42.431.393	35.477.936
650.293	-0.23371109	0.18730478	0.65819877	-0.72565657	-0.046992302	-0.17374754	42.044.559	35.477.837
650.294	-0.25370032	0.16614327	0.71856713	-0.71851313	-0.046724081	-0.17563701	42.680.872	35.477.741

650.295	-0.28012428	0.13763425	0.77396542	-0.70199758	-0.046396255	-0.17656088	42.080.887	35.477.642
650.296	-0.30013689	0.11330505	0.82437581	-0.70325482	-0.047618151	-0.17681718	42.669.189	35.477.547
650.297	-0.29937574	0.089813076	0.86969084	-0.68953943	-0.048488379	-0.17608404	42.173.694	35.477.451
650.298	-0.28907669	0.064690411	0.90981507	-0.67868143	-0.043934584	-0.17516613	42.191.226	35.477.352
650.299	-0.26480153	0.044634756	0.94404447	-0.67016649	-0.045728683	-0.17546415	42.525.479	35.477.257
65.03	-0.23468889	0.02269225	0.96987915	-0.68222457	-0.047940016	-0.17536283	42.282.819	35.477.158
650.301	-0.23771597	0.0073100035	0.99354798	-0.68759644	-0.048029423	-0.17463565	42.265.558	35.477.062
650.302	-0.26605451	-0.007841072	10.065.428	-0.69765437	-0.049030781	-0.17399192	42.585.742	35.477.043
650.303	-0.29590955	-0.022223661	10.067.875	-0.67313814	-0.046658516	-0.17367005	42.095.859	35.477.024
650.304	-0.31513175	-0.03220775	10.029.153	-0.6695379	-0.042748451	-0.17143488	42.507.339	35.477.005
650.305	-0.32925418	-0.042304303	0.98965788	-0.68376756	-0.042778254	-0.17047524	42.572.083	35.476.986
650.306	-0.33007389	-0.044878423	0.97151393	-0.65850848	-0.045073032	-0.16925335	42.178.986	35.476.967
650.307	-0.33000949	-0.052313384	0.94308984	-0.66679484	-0.046646595	-0.16899109	42.632.446	35.476.948
650.308	-0.32222223	-0.054937489	0.91184962	-0.6573655	-0.046813488	-0.16999841	42.256.165	35.476.929
650.309	-0.31377923	-0.056711882	0.88069296	-0.65427953	-0.049501657	-0.17116666	42.577.451	3.547.691
65.031	-0.31649598	-0.057036772	0.84359962	-0.65193653	-0.047683716	-0.17380714	42.330.786	35.476.891
650.311	-0.32191777	-0.054368932	0.80528921	-0.66085148	-0.049424171	-0.17530918	42.495.129	35.476.871
650.312	-0.31068775	-0.04955183	0.7649979	-0.65610826	-0.047671795	-0.17389655	42.328.699	35.476.852
650.313	-0.27966172	-0.045703143	0.72102529	-0.63884979	-0.046807528	-0.17310381	42.350.259	35.476.833
650.314	-0.2317438	-0.042829122	0.67498231	-0.62827754	-0.048071146	-0.1745224	42.072.269	35.476.814
650.315	-0.19051823	-0.038899217	0.63142741	-0.6346209	-0.049006939	-0.17212629	42.365.808	35.476.795
650.316	-0.15934582	-0.031276818	0.58652401	-0.63759255	-0.052785873	-0.17094016	4.240.838	35.476.776
650.317	-0.13727219	-0.023673166	0.54181159	-0.64799333	-0.052165985	-0.17015338	42.009.711	35.476.757
650.318	-0.11537421	-0.01513858	0.4971827	-0.62559164	-0.047123432	-0.17020106	42.492.648	35.476.738
650.319	-0.094020762	-0.0064977808	0.4477866	-0.62959194	-0.045382977	-0.17011166	42.226.596	35.476.719
65.032	-0.084459431	-0.00088719703	0.39916617	-0.65336519	-0.048416853	-0.17294288	42.202.542	354.767

650.321	-0.062151603	0.00085595768	0.34961495	-0.61924827	-0.048339367	-0.17409325	42.395.227	35.476.681
650.322	-0.029673511	0.014370092	0.29914492	-0.62044835	-0.048959255	-0.17299056	42.728.168	35.476.662
650.323	0.0026172176	0.017356573	0.24702814	-0.62342	-0.047600269	-0.17237067	4.184.017	35.476.643
650.324	0.021054843	0.022423591	0.19504263	-0.61050475	-0.046133995	-0.17155409	42.599.405	35.476.624
650.325	0.023513975	0.023441995	0.14477545	-0.62759179	-0.04619956	-0.17136931	42.174.225	35.476.604
650.326	0.020510321	0.027765518	0.09389969	-0.62953478	-0.046825409	-0.16919374	42.234.244	35.476.585
650.327	0.010176118	0.03124558	0.048125234	-0.63650674	-0.047212839	-0.16881227	42.396.591	35.476.566
650.328	0.0035540294	0.029346228	0.0022254786	-0.64227861	-0.049710274	-0.16744733	42.216.107	35.476.547
650.329	0.0085484069	0.02951492	-0.040500134	-0.63204926	-0.054013729	-0.16723275	42.437.256	35.476.528
65.033	0.01363061	0.027584329	-0.076274849	-0.6438216	-0.052791834	-0.16723871	42.351.575	35.476.509
650.331	0.020902611	0.024847765	-0.10734206	-0.62913471	-0.048130751	-0.16751289	42.029.138	3.547.649
650.332	0.03112557	0.023835611	-0.13428049	-0.6224485	-0.048327446	-0.16971231	4.265.723	35.476.471
650.333	0.036149222	0.016744282	-0.16038363	-0.62707746	-0.048857927	-0.17143488	42.312.598	35.476.452
650.334	0.037566148	0.0076911235	-0.18078883	-0.63513523	-0.04978776	-0.17068386	4.225.589	35.476.433
650.335	0.035610557	0.00024991465	-0.19622397	-0.63484949	-0.049990416	-0.1703918	42.529.398	35.476.414
650.336	0.044697627	-0.010358962	-0.20674279	-0.62999195	-0.049203634	-0.16865134	4.212.403	35.476.395
650.337	0.051723715	-0.022848448	-0.21443352	-0.64205003	-0.04889369	-0.16869903	42.452.606	35.476.376
650.338	0.061431427	-0.035625335	-0.21764347	-0.64222145	-0.046497583	-0.16720891	42.564.395	35.476.357
650.339	0.085208878	-0.044934656	-0.21645615	-0.63936412	-0.046920776	-0.16761422	42.168.201	35.476.337
65.034	0.1027214	-0.056224547	-0.21577001	-0.6369068	-0.049203634	-0.1666069	42.603.061	35.476.318
650.341	0.11041497	-0.067726873	-0.217548	-0.66016573	-0.051885843	-0.16644001	42.376.187	35.476.299
650.342	0.12539224	-0.076642573	-0.21905154	-0.65696549	-0.053328276	-0.16874671	42.644.412	3.547.628
650.343	0.13524634	-0.084802292	-0.21940953	-0.63827831	-0.052589178	-0.17111301	42.248.251	35.476.261
650.344	0.14231926	-0.094380267	-0.22181401	-0.63256359	-0.053423643	-0.16955733	42.547.324	35.476.242
650.345	0.15501891	-0.099940866	-0.22630672	-0.64662182	-0.051039457	-0.16670823	42.211.755	35.476.223
650.346	0.1731755	-0.10194018	-0.2280549	-0.63782114	-0.048059225	-0.16797185	42.571.063	35.476.204

650.347	0.18486808	-0.10804436	-0.23266098	-0.62353432	-0.05338788	-0.16797185	41.818.298	35.476.185
650.348	0.19605713	-0.11907808	-0.23559646	-0.61947685	-0.054228306	-0.16905069	42.533.698	35.476.166
650.349	0.20451185	-0.13039921	-0.23748782	-0.64753616	-0.05672574	-0.17011166	42.308.371	35.476.147
65.035	0.20715834	-0.14314486	-0.23414065	-0.65130788	-0.055205822	-0.17004013	42.343.481	35.476.128
650.351	0.21285532	-0.15600297	-0.23443897	-0.63313508	-0.054949522	-0.16956329	42.157.278	35.476.105
650.352	0.21447718	-0.16510612	-0.23438527	-0.62399149	-0.054037571	-0.1691699	42.520.111	35.476.086
650.353	0.19795416	-0.17828912	-0.23851404	-0.62462008	-0.054734945	-0.16997457	42.021.872	35.476.067
650.354	0.17304084	-0.19140963	-0.24165238	-0.63107777	-0.051766634	-0.17114878	42.582.953	35.476.048
650.355	0.11989433	-0.21025945	-0.25174758	-0.60547578	-0.051128864	-0.17230511	42.414.505	35.476.028
650.356	0.075706095	-0.2300027	-0.2602796	-0.59833235	-0.053745508	-0.17144084	41.991.348	35.476.009
650.357	0.037531018	-0.24916491	-0.26848343	-0.59764659	-0.053983927	-0.16862154	4.243.934	3.547.599
650.358	0.0092041753	-0.2694205	-0.27159789	-0.58621711	-0.057679415	-0.1681149	42.338.373	35.475.971
650.359	0.0087416247	-0.28395304	-0.2706731	-0.60358989	-0.057953596	-0.1675725	4.216.261	35.475.952
65.036	0.01243032	-0.29720476	-0.27008241	-0.58838868	-0.055807829	-0.16809106	42.598.337	35.475.933
650.361	0.023502264	-0.31362414	-0.26408616	-0.59656078	-0.055205822	-0.16988516	4.213.443	35.475.914
650.362	0.027079713	-0.32265857	-0.24682528	-0.59158897	-0.056689978	-0.1709044	42.502.863	35.475.895
650.363	0.022173163	-0.33667877	-0.22571605	-0.58267397	-0.056928396	-0.17431974	42.413.177	35.475.876
650.364	0.011973625	-0.3516424	-0.19924895	-0.5898174	-0.054067373	-0.17405748	42.135.895	35.475.857
650.365	-0.00026933337	-0.36266366	-0.1638919	-0.60130399	-0.053465366	-0.17377734	42.739.349	35.475.838
650.366	0.0097838277	-0.37222287	-0.12282494	-0.57490194	-0.053775311	-0.17341971	42.311.072	35.475.819
650.367	0.033192411	-0.38225695	-0.078345202	-0.57953089	-0.054746866	-0.17107129	42.245.676	354.758
650.368	0.06989786	-0.39146006	-0.029301142	-0.57735926	-0.057649612	-0.16812086	42.591.754	3.547.578
650.369	0.11531567	-0.40226889	0.019784685	-0.56810141	-0.057035685	-0.16465783	42.176.596	35.475.761
65.037	0.16382495	-0.4095414	0.069437325	-0.60690445	-0.054317713	-0.16700029	42.579.321	35.475.742
650.371	0.19773167	-0.4207688	0.12017585	-0.57427335	-0.054693222	-0.16961098	42.497.708	35.475.723
650.372	0.20913151	-0.42661682	0.16680947	-0.56981581	-0.05184412	-0.17222762	42.327.386	35.475.704

650.373	0.21670212	-0.43350196	0.20999449	-0.58153105	-0.050103664	-0.17403364	42.513.452	35.475.685
650.374	0.20896757	-0.44139302	0.24978463	-0.57655919	-0.05594492	-0.17781854	42.583.496	35.475.666
650.375	0.20267336	-0.44700983	0.28490901	-0.57713068	-0.05671978	-0.17733574	42.603.436	35.475.647
650.376	0.20127985	-0.45279536	0.3119787	-0.57815933	-0.058531761	-0.17647147	4.242.467	35.475.628
650.377	0.19131452	-0.4598617	0.33504492	-0.5578149	-0.059634447	-0.17418861	42.336.774	35.475.609
650.378	0.16894229	-0.46084887	0.35479382	-0.52832687	-0.06018877	-0.17167926	42.383.661	3.547.559
650.379	0.16048171	-0.45854965	0.36977553	-0.53449881	-0.06095767	-0.16593933	42.600.214	35.475.571
65.038	0.14986645	-0.45643789	0.37466204	-0.52312648	-0.05863905	-0.16647577	41.849.109	35.475.552
650.381	0.13099556	-0.45622545	0.37673238	-0.52838403	-0.058096647	-0.16701221	39.868.875	35.475.533
650.382	0.12533955	-0.44642255	0.38148764	-0.52221215	-0.059950352	-0.16890168	42.717.145	35.475.513
650.383	0.10278581	-0.44431701	0.37357613	-0.53215575	-0.059807301	-0.17198324	42.132.593	35.475.494
650.384	0.090636529	-0.43844402	0.36326018	-0.55644333	-0.059235096	-0.17138124	42.400.732	35.475.475
650.385	0.09235207	-0.42669803	0.34545037	-0.53352731	-0.059062243	-0.17223358	42.422.577	35.475.456
650.386	0.084067143	-0.41074723	0.32715732	-0.52101201	-0.058287382	-0.17316341	42.018.808	35.475.437
650.387	0.055113804	-0.39729556	0.29891223	-0.52564096	-0.058335066	-0.17309189	42.378.503	35.475.418
650.388	0.026090207	-0.38171339	0.27110866	-0.52758396	-0.058531761	-0.17161369	42.435.678	35.475.399
650.389	0.014327364	-0.36816803	0.23701647	-0.52364081	-0.059652328	-0.17105937	42.208.667	3.547.538
65.039	0.017500814	-0.34655041	0.20047805	-0.51626879	-0.066065788	-0.1701355	42.329.407	35.475.361
650.391	0.025674496	-0.32905638	0.15972732	-0.50318205	-0.065124035	-0.17021894	42.550.992	35.475.342
650.392	0.024474205	-0.31367412	0.11926895	-0.50392497	-0.061923265	-0.17092824	42.067.484	35.475.323
650.393	0.014661103	-0.29498675	0.079997905	-0.51386863	-0.062197447	-0.1712203	42.645.227	35.475.304
650.394	0.0021312467	-0.27553716	0.033286717	-0.5021534	-0.065684319	-0.17206073	42.106.522	35.475.285
650.395	0.01399948	-0.2565124	-0.020584187	-0.48158038	-0.064182281	-0.1709342	42.419.479	35.475.266
650.396	0.028900642	-0.23708779	-0.072915755	-0.49049535	-0.060403347	-0.17185211	42.382.657	35.475.246
650.397	0.050218962	-0.21470168	-0.13361226	-0.482209	-0.059318542	-0.17280579	42.078.442	35.475.227
650.398	0.080120824	-0.19820106	-0.20221427	-0.47146532	-0.061368942	-0.17125607	42.661.642	35.475.208

650.399	0.085712418	-0.18158799	-0.26826864	-0.46500766	-0.063252449	-0.17310977	4.227.673	35.475.189
65.04	0.064745396	-0.16448133	-0.33324903	-0.45614985	-0.060015917	-0.17139912	42.150.189	3.547.517
650.401	0.03082696	-0.1549096	-0.40281761	-0.4576928	-0.055134296	-0.17039776	42.692.773	35.475.151
650.402	0.0088938558	-0.14978635	-0.46711189	-0.46026444	-0.056731701	-0.16962886	42.229.669	35.475.075
650.403	0.0071548992	-0.1399647	-0.52885848	-0.45163518	-0.060737133	-0.16648769	42.545.218	35.474.995
650.404	0.012008755	-0.13414794	-0.59176254	-0.43809128	-0.067138672	-0.16645789	42.467.358	35.474.918
650.405	0.022407364	-0.12898095	-0.64902836	-0.44620621	-0.065791607	-0.16656518	42.218.588	35.474.842
650.406	0.029328061	-0.12253316	-0.70047688	-0.43911994	-0.061661005	-0.16692281	42.451.437	35.474.766
650.407	0.031687655	-0.11684135	-0.74678832	-0.43837702	-0.062346458	-0.16779304	42.573.679	35.474.686
650.408	0.034995772	-0.11238037	-0.78906643	-0.43631971	-0.063949823	-0.17058253	42.592.575	35.474.609
650.409	0.028830381	-0.10845671	-0.82389253	-0.43254799	-0.06455183	-0.17146468	42.456.622	35.474.533
65.041	0.020633278	-0.10782567	-0.85105765	-0.41271788	-0.061488152	-0.17262697	42.218.149	35.474.457
650.411	0.012073161	-0.11085589	-0.87175524	-0.39551654	-0.060629845	-0.17300248	42.226.151	35.474.377
650.412	0.0062356531	-0.11223667	-0.88706505	-0.36677143	-0.064760447	-0.17097592	42.308.057	354.743
650.413	0.0042917687	-0.1159604	-0.89746457	-0.36814296	-0.0662148	-0.16999841	42.196.765	35.474.224
650.414	0.010638668	-0.12513852	-0.90397394	-0.37505779	-0.068384409	-0.16936064	42.172.369	35.474.148
650.415	0.02597896	-0.13788415	-0.90828168	-0.35648492	-0.069087744	-0.16816258	42.612.262	35.474.068
650.416	0.059774444	-0.15211681	-0.90886045	-0.35339898	-0.069117546	-0.16793609	42.149.765	35.473.991
650.417	0.092773631	-0.16533728	-0.90434384	-0.34385538	-0.065296888	-0.16723871	42.287.952	35.473.915
650.418	0.10217103	-0.18474941	-0.8966949	-0.34174091	-0.062960386	-0.16919374	42.443.109	35.473.839
650.419	0.10309613	-0.20989707	-0.88507229	-0.33431175	-0.065392256	-0.16895533	42.201.004	35.473.759
65.042	0.11139862	-0.22730362	-0.86563963	-0.32665402	-0.068950653	-0.16975999	42.385.718	35.473.682
650.421	0.1211239	-0.25108302	-0.84611744	-0.32459673	-0.069469213	-0.16979575	42.596.021	35.473.606
650.422	0.14221387	-0.27185091	-0.81714445	-0.30299503	-0.066101551	-0.16906261	41.998.053	3.547.353
650.423	0.1607042	-0.2946119	-0.78261673	-0.30945268	-0.065714121	-0.16898513	42.354.599	3.547.345
650.424	0.14350784	-0.31744158	-0.74842912	-0.30985272	-0.069016218	-0.16734004	42.435.495	35.473.373

650.425	0.10979433	-0.34695026	-0.70608532	-0.27573577	-0.067734718	-0.16926527	41.992.822	35.473.297
650.426	0.069388472	-0.38040134	-0.65699357	-0.27207834	-0.06596446	-0.16977787	42.568.793	35.473.221
650.427	0.032805976	-0.40971008	-0.59843302	-0.27825025	-0.067412853	-0.17188787	41.960.504	35.473.141
650.428	0.010088291	-0.43361443	-0.53553492	-0.2879653	-0.065296888	-0.17578006	42.504.538	35.473.064
650.429	-0.0075530442	-0.46218592	-0.47747555	-0.27573577	-0.067055225	-0.17582774	42.373.941	35.472.988
65.043	-0.014825045	-0.49140093	-0.42010832	-0.27190691	-0.070643425	-0.1747191	42.190.793	35.472.908
650.431	-0.018841626	-0.5144493	-0.35980561	-0.27436423	-0.065642595	-0.17383099	42.404.388	35.472.832
650.432	-0.038415134	-0.54373932	-0.29936567	-0.27990752	-0.061780214	-0.17078519	42.526.172	35.472.755
650.433	-0.058451194	-0.57212961	-0.23846035	-0.24104735	-0.060540438	-0.16901493	41.984.677	35.472.679
650.434	-0.078709751	-0.59375972	-0.17595601	-0.24104735	-0.064820051	-0.16791224	42.751.031	35.472.599
650.435	-0.10300244	-0.6133343	-0.11491942	-0.23458971	-0.069314241	-0.16855597	41.967.841	35.472.523
650.436	-0.13779914	-0.6321466	-0.053441323	-0.24413331	-0.07045269	-0.17035604	42.557.214	35.472.446
650.437	-0.16955706	-0.65183365	0.0091107404	-0.23950438	-0.073224306	-0.17225146	42.419.525	3.547.237
650.438	-0.19673046	-0.66959631	0.070529178	-0.23893291	-0.07160306	-0.17142892	42.394.498	3.547.229
650.439	-0.22987017	-0.68555337	0.12709095	-0.24407616	-0.070232153	-0.17290115	42.431.293	35.472.214
65.044	-0.25465471	-0.69717443	0.18126614	-0.23213238	-0.066572428	-0.1722157	42.457.291	35.472.137
650.441	-0.27313915	-0.70572776	0.22951667	-0.22036003	-0.064784288	-0.17074943	42.464.447	35.472.061
650.442	-0.27747193	-0.71919191	0.27372196	-0.20710185	-0.066208839	-0.17173886	42.380.276	35.471.981
650.443	-0.26187986	-0.71997911	0.32160255	-0.19361509	-0.071227551	-0.17104149	4.226.897	35.471.905
650.444	-0.25389352	-0.72001034	0.36705482	-0.18195704	-0.072288513	-0.16924143	42.368.683	35.471.828
650.445	-0.25522265	-0.72543979	0.41235793	-0.17618516	-0.070619583	-0.16989708	42.409.955	35.471.752
650.446	-0.26253563	-0.72662061	0.45034024	-0.15361197	-0.069016218	-0.16971827	42.211.047	35.471.672
650.447	-0.27056879	-0.73107535	0.48913398	-0.1274385	-0.07084012	-0.17037392	42.226.175	35.471.596
650.448	-0.27262977	-0.72706419	0.53083336	-0.13995376	-0.067937374	-0.16992092	42.683.884	35.471.519
650.449	-0.27329725	-0.72520232	0.56904835	-0.1232096	-0.067085028	-0.1708746	4.217.905	35.471.443
65.045	-0.27049851	-0.72201592	0.60565835	-0.12623841	-0.068235397	-0.17089248	42.278.641	35.471.363

650.451	-0.24721876	-0.71191311	0.63427931	-0.13292465	-0.069731474	-0.17055273	42.509.412	35.471.287
650.452	-0.21851718	-0.70552778	0.65618211	-0.12263813	-0.069695711	-0.16754866	42.295.029	3.547.121
650.453	-0.19738036	-0.69701195	0.67072231	-0.13686781	-0.069129467	-0.16566515	4.208.934	3.547.113
650.454	-0.19027817	-0.69071412	0.68084139	-0.11526612	-0.068414211	-0.16443729	42.870.593	35.471.054
650.455	-0.18340431	-0.68105489	0.68478519	-0.1159519	-0.068485737	-0.16502738	41.940.717	35.470.978
650.456	-0.15166396	-0.66876537	0.67983902	-0.11738057	-0.065600872	-0.16420484	42.539.218	35.470.901
650.457	-0.11421491	-0.65447026	0.66966027	-0.095664598	-0.065523386	-0.16517043	42.317.297	35.470.821
650.458	-0.092480883	-0.63917547	0.65304375	-0.10149363	-0.066608191	-0.16753674	4.233.577	35.470.745
650.459	-0.084547259	-0.61820763	0.63248342	-0.097664751	-0.069862604	-0.16625524	42.547.385	35.470.669
65.046	-0.092486739	-0.60477471	0.60899955	-0.096064627	-0.073289871	-0.16784668	42.356.253	35.470.592
650.461	-0.11117613	-0.584113	0.58926857	-0.10035068	-0.074535608	-0.16847849	42.347.891	35.470.512
650.462	-0.13930391	-0.56396365	0.56463319	-0.083720811	-0.072258711	-0.16738772	4.270.372	35.470.436
650.463	-0.15822165	-0.54895002	0.53534997	-0.088978365	-0.070726871	-0.16795397	42.252.023	3.547.036
650.464	-0.17610304	-0.52665138	0.51036251	-0.084292285	-0.070613623	-0.16639829	42.611.246	35.470.284
650.465	-0.18805909	-0.50520873	0.48556009	-0.05909032	-0.077021122	-0.16249418	4.253.356	35.470.203
650.466	-0.19872704	-0.47987363	0.46152729	-0.050575368	-0.078308582	-0.16025305	42.119.119	35.470.127
650.467	-0.2090144	-0.45430735	0.43779284	-0.036402836	-0.074058771	-0.16097426	42.780.435	35.470.051
650.468	-0.22060744	-0.4257921	0.42301399	-0.024573343	-0.06930232	-0.16192794	42.254.724	35.469.975
650.469	-0.22814879	-0.39768293	0.40543687	-0.025601994	-0.070333481	-0.16158819	42.703.326	35.469.894
65.047	-0.23002826	-0.37369114	0.39104584	-0.020744475	-0.073987246	-0.16242266	42.504.523	35.469.818
650.471	-0.23051423	-0.346944	0.37980509	-0.013086734	-0.074887276	-0.16392469	42.404.562	35.469.742
650.472	-0.21682507	-0.31426767	0.36970988	-0.0060576149	-0.074070692	-0.16483068	42.480.167	35.469.666
650.473	-0.20821226	-0.28241605	0.35547996	-0.012343819	-0.075095892	-0.16332269	42.589.661	35.469.585
650.474	-0.2022635	-0.25984251	0.33564752	-0.0064576459	-0.071364641	-0.16100407	42.587.219	35.469.509
650.475	-0.19099835	-0.23241438	0.31912053	0.010229369	-0.071322918	-0.16098022	42.510.739	35.469.433
650.476	-0.17598593	-0.21147779	0.30378678	0.016001247	-0.072550774	-0.16059875	42.338.519	35.469.353

650.477	-0.16282374	-0.19299659	0.28677052	0.021315947	-0.07352829	-0.16046166	42.242.935	35.469.276
650.478	-0.15785863	-0.17404057	0.27344748	0.020858768	-0.071901083	-0.15907884	42.730.698	354.692
650.479	-0.14387086	-0.16932967	0.26396087	0.028859392	-0.07070303	-0.15975833	42.060.068	35.469.124
65.048	-0.13014071	-0.16130741	0.2647365	0.040346	-0.072598457	-0.16044974	42.579.977	35.469.044
650.481	-0.13026367	-0.15950178	0.2782087	0.040060263	-0.073039532	-0.1609385	43.727.023	35.468.967
650.482	-0.11532152	-0.15423483	0.30249208	0.038117256	-0.07391572	-0.16078353	42.389.117	35.468.891
650.483	-0.11213636	-0.15704636	0.32456788	0.036517132	-0.077271461	-0.15969872	42.258.234	35.468.815
650.484	-0.1150112	-0.15616542	0.35991898	0.039260201	-0.078266859	-0.15839934	42.725.726	35.468.735
650.485	-0.12832564	-0.15753995	0.40223292	0.051604021	-0.072586536	-0.15776157	42.261.966	35.468.658
650.486	-0.14915799	-0.15918939	0.4521063	0.041888978	-0.069260597	-0.15709996	42.285.361	35.468.582
650.487	-0.18287736	-0.16611202	0.50064319	0.03806011	-0.069379807	-0.15947819	42.704.895	35.468.506
650.488	-0.20523202	-0.17072295	0.55827892	0.0414318	-0.069570541	-0.16176701	42.156.537	35.468.426
650.489	-0.2061864	-0.17606488	0.61985844	0.057147309	-0.069969893	-0.16149879	42.323.062	35.468.349
65.049	-0.18086906	-0.17431547	0.69018477	0.058347404	-0.070798397	-0.15981793	42.472.751	35.468.273
650.491	-0.1498079	-0.18036966	0.75490266	0.056518689	-0.070971251	-0.15791655	42.247.574	35.468.197
650.492	-0.11549132	-0.18425582	0.8265118	0.060004678	-0.073426962	-0.1583159	42.606.015	35.468.117
650.493	-0.10593584	-0.18761092	0.89688581	0.077206016	-0.07687211	-0.15676618	42.262.039	3.546.804
650.494	-0.12070819	-0.19508338	0.96169919	0.086292438	-0.078606606	-0.15713573	4.229.411	35.467.964
650.495	-0.13494188	-0.203493	10.230.937	0.065605111	-0.07982254	-0.1588583	42.647.345	35.467.888
650.496	-0.13985428	-0.21167146	10.784.384	0.091950022	-0.075262785	-0.16124249	42.290.952	35.467.808
650.497	-0.13351908	-0.22296761	11.320.467	0.088178299	-0.068002939	-0.15879273	42.552.878	35.467.731
650.498	-0.11119955	-0.23299544	11.853.091	0.11486609	-0.071555376	-0.15681982	42.558.987	35.467.655
650.499	-0.089272298	-0.24887127	1.227.092	0.11549471	-0.07506609	-0.15449524	42.041.211	35.467.579
65.05	-0.061355311	-0.26942673	12.644.836	0.12092371	-0.074523687	-0.152421	42.831.665	35.467.499
650.501	-0.045464642	-0.29040706	1.303.331	0.14795439	-0.073778629	-0.14927983	42.298.611	35.467.422
650.502	-0.048251659	-0.31011909	13.422.142	0.15241188	-0.075364113	-0.15193224	42.613.623	35.467.388

650.503	-0.066595599	-0.33070582	13.778.696	0.15995532	-0.075775385	-0.15339851	42.500.027	3.546.735
650.504	-0.10229398	-0.35245463	14.069.799	0.15401199	-0.07275939	-0.15480518	42.460.898	35.467.316
650.505	-0.12685016	-0.37168556	14.346.999	0.15612645	-0.072133541	-0.15385747	42.382.257	35.467.281
650.506	-0.13944443	-0.38565579	14.596.574	0.14561135	-0.070953369	-0.15302896	42.636.685	35.467.243
650.507	-0.144673	-0.40729842	14.739.411	0.15646933	-0.070643425	-0.15121698	42.395.935	35.467.209
650.508	-0.14588501	-0.42367408	14.839.587	0.15172611	-0.071650743	-0.15260577	42.534.479	35.467.175
650.509	-0.14101943	-0.43500769	14.843.943	0.15166897	-0.07122159	-0.15351176	42.214.755	3.546.714
65.051	-0.14363666	-0.44489181	14.785.115	0.13663922	-0.073349476	-0.15211105	42.178.873	35.467.102
650.511	-0.15695694	-0.45322022	14.633.447	0.15024027	-0.070619583	-0.15162826	42.525.427	35.467.068
650.512	-0.17988542	-0.45808733	14.326.057	0.14195392	-0.069135427	-0.15064478	42.340.369	35.467.033
650.513	-0.21251574	-0.45880583	13.924.397	0.14458269	-0.066620111	-0.15226007	42.319.687	35.466.995
650.514	-0.22273284	-0.45643163	13.402.811	0.14795439	-0.068837404	-0.15220046	42.509.512	35.466.961
650.515	-0.20673677	-0.4504087	12.770.966	0.13046731	-0.068134069	-0.15366673	42.404.114	35.466.927
650.516	-0.19325255	-0.44974017	12.033.635	0.15355483	-0.070762634	-0.15352368	42.141.449	35.466.888
650.517	-0.1950559	-0.44752216	11.215.637	0.15818375	-0.072109699	-0.15178323	42.652.991	35.466.854
650.518	-0.2051442	-0.4421865	10.389.943	0.15121178	-0.069588423	-0.15140772	42.233.365	3.546.682
650.519	-0.21310709	-0.43725693	0.95203954	0.16184118	-0.066798925	-0.14986396	4.225.293	35.466.785
65.052	-0.22377504	-0.43472028	0.85735226	0.15886952	-0.066155195	-0.14795065	42.536.749	35.466.747
650.521	-0.23077185	-0.4311465	0.76502174	0.1678988	-0.066453218	-0.14778376	42.316.168	35.466.713
650.522	-0.22705974	-0.42597952	0.67405754	0.17412786	-0.067234039	-0.14671683	42.170.013	35.466.679
650.523	-0.20984583	-0.4310278	0.57866025	0.17229915	-0.067609549	-0.14294982	42.606.857	3.546.664
650.524	-0.18330477	-0.42905971	0.48465317	0.18167131	-0.065422058	-0.14320016	42.114.951	35.466.606
650.525	-0.14082037	-0.42501736	0.39769843	0.18184274	-0.067615509	-0.14161468	42.752.417	35.466.572
650.526	-0.11178505	-0.42465499	0.30902532	0.17492792	-0.066381693	-0.14057755	4.209.281	35.466.534
650.527	-0.092363782	-0.42649809	0.2219393	0.19407226	-0.065976381	-0.13994575	42.382.336	35.466.499
650.528	-0.079722673	-0.43747559	0.13223401	0.19721536	-0.069063902	-0.13833046	42.507.477	35.466.465

650.529	-0.065120123	-0.44266757	0.047510691	0.19641531	-0.069946051	-0.13865232	42.410.352	35.466.431
65.053	-0.044030149	-0.4453854	-0.031884607	0.1890433	-0.070804358	-0.13728738	42.360.651	35.466.393
650.531	-0.029410033	-0.44990885	-0.11108898	0.18332857	-0.069212914	-0.13654828	42.674.762	35.466.358
650.532	-0.020317104	-0.45896825	-0.18922536	0.19207211	-0.067991018	-0.13664365	42.003.784	35.466.324
650.533	-0.012629393	-0.47482535	-0.26447397	0.18938619	-0.065523386	-0.13760924	42.853.571	35.466.286
650.534	-0.01241861	-0.4812544	-0.32755706	0.18681456	-0.064098835	-0.13434291	42.368.982	35.466.251
650.535	-0.015826263	-0.49438742	-0.3922272	0.20098709	-0.06557107	-0.13340116	42.551.117	35.466.217
650.536	-0.015908234	-0.5127936	-0.45125312	0.19184352	-0.066423416	-0.13129115	42.398.984	35.466.179
650.537	-0.0039111888	-0.52474582	-0.50090575	0.18481441	-0.067424774	-0.12901425	42.520.892	35.466.145
650.538	0.015832119	-0.54187745	-0.5430944	0.18664311	-0.06608963	-0.12669563	42.473.792	3.546.611
650.539	0.042917687	-0.55626005	-0.56692427	0.17847104	-0.06377697	-0.1252532	42.552.878	35.466.076
65.054	0.063275777	-0.57542223	-0.58904785	0.18498585	-0.062996149	-0.12577772	42.388.721	35.466.038
650.541	0.064306267	-0.59414709	-0.60170263	0.18224277	-0.063127279	-0.12623072	42.483.698	35.466.003
650.542	0.052572701	-0.61129123	-0.59655958	0.18567161	-0.065749884	-0.12633204	42.253.421	35.465.969

PHỤ LỤC 5

MỘT SỐ HÌNH ẢNH THÍ NGHIỆM

1. CÔNG TÁC CHUẨN BỊ TRƯỚC THÍ NGHIỆM



Hình 5.1. Các chuyên gia lắp đặt thiết bị tại phòng thí nghiệm



Hình 5.2. Nghiên cứu sinh lắp đặt thiết bị tại phòng thí nghiệm



Hình 5.3. Các chuyên gia hiệu chỉnh thiết bị tại phòng thí nghiệm

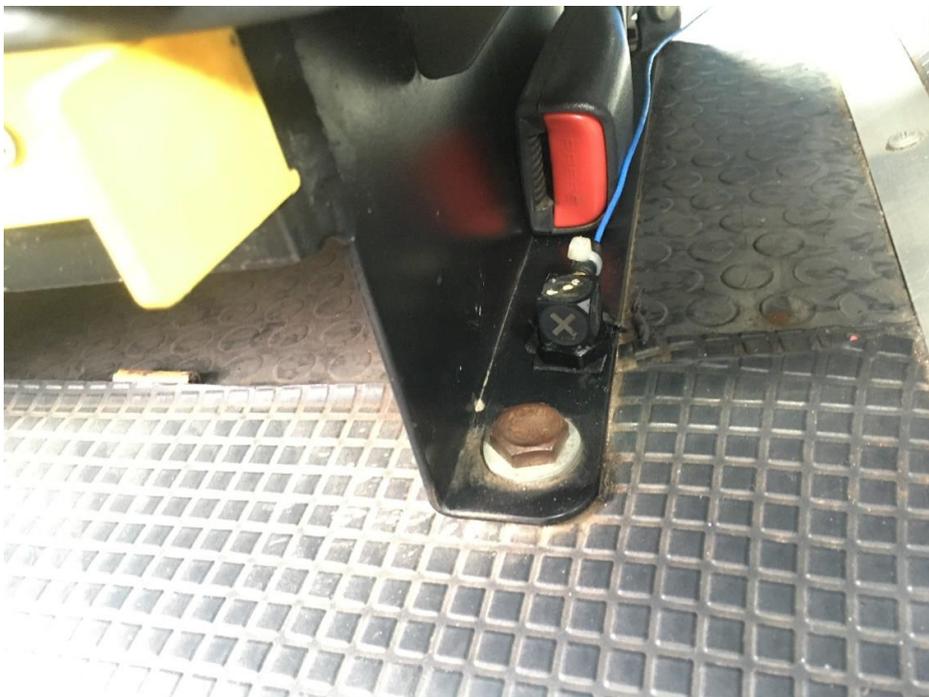


Hình 5.4. Chuyên gia và NCS hiệu chỉnh thiết bị tại phòng thí nghiệm

2. LẮP ĐẶT THIẾT BỊ THÍ NGHIỆM



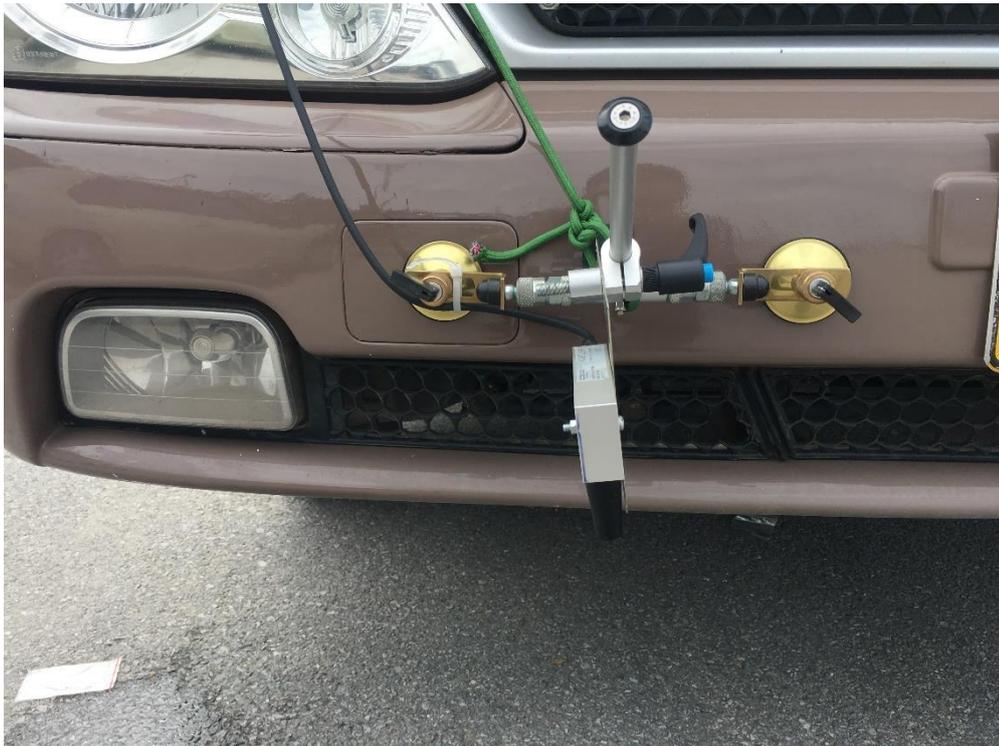
Hình 5.5. Lắp đặt cảm biến vận tốc sà xe



Hình 5.6. Lắp đặt cảm biến gia tốc 3 phương tại sà xe (hàng ghế thứ 3)



Hình 5.7. Lắp đặt cảm biến gia tốc 1 phương trên người (Đầu – Ngực – Đầu)



Hình 5.7. Lắp đặt cảm biến HF – 650 tại đầu xe



Hình 5.8. Bộ thu tín hiệu lắp trên nóc xe



Hình 5.9. Bộ thu thập dữ liệu Dewesoft Sirius 16ACC và R2DB được kết nối với các cảm biến

3. BUỔI THÍ NGHIỆM



Hình 5.10. Xe thử nghiệm chạy qua mấp mô đơn hình Sin



Hình 5.11. Xe thử nghiệm chạy qua mấp mô đơn hình Xung



Hình 5.12. Các chuyên gia, nhà khoa học trên xe thí nghiệm



Hình 5.13. Các chuyên gia, nhà khoa học tham gia thí nghiệm