

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



NGÔ QUANG TẠO

**NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA KHỐI LƯỢNG
Ô TÔ 5 CHỖ ĐẾN MỨC TIÊU THỤ NHIÊN LIỆU**

Ngành : Kỹ Thuật Cơ Khí Động Lực

Mã số : 9.52.01.16

NGÔ QUANG TẠO

**LUẬN AN TIẾN SĨ KỸ THUẬT
CƠ KHÍ ĐỘNG LỰC**

2026

Hà Nội – 2026

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



NGÔ QUANG TẠO

**NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA KHỐI LƯỢNG Ô TÔ 5
CHỖ ĐẾN MỨC TIÊU THỤ NHIÊN LIỆU**

Ngành : Kỹ Thuật Cơ Khí Động Lực
Mã số : 9.52.01.16

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 – 2026

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam kết rằng công trình nghiên cứu này do tôi trực tiếp thực hiện, dưới sự hướng dẫn của: PGS.TS Nguyễn Thanh Quang và PGS.TS Lê Hồng Quân. Các số liệu và kết quả nghiên cứu trình bày trong luận án là trung thực, có nguồn gốc rõ ràng và chưa từng được công bố trong bất kỳ công trình khoa học nào trước đây.

Hà Nội, ngày tháng năm 2026

Nghiên cứu sinh

Ngô Quang Tạo

LỜI CẢM ƠN

Sau quá trình học tập và nghiên cứu tại Trường Cơ Khí – Ô Tô, Đại học Công Nghiệp Hà Nội, Nghiên cứu sinh xin bày tỏ sự cảm ơn sâu sắc đến Đại học Công Nghiệp Hà Nội, Trường Cơ Khí – Ô Tô, Trung tâm Sau Đại Học đã hỗ trợ và tạo mọi điều kiện cần thiết cho nghiên cứu sinh thực hiện nội dung nghiên cứu luận án.

Nghiên cứu sinh xin gửi lời cảm ơn chân thành tập thể hướng dẫn khoa học là PGS.TS Nguyễn Thanh Quang và PGS.TS Lê Hồng Quân đã dành nhiều thời gian, công sức hướng dẫn tận tình, tháo gỡ những vướng mắc để nghiên cứu sinh có thể hoàn thành được luận án.

Nghiên cứu sinh trân trọng gửi lời cảm ơn đến đội ngũ giảng viên khoa Cơ khí động lực, Trường Cơ khí – Ô Tô đã nhiệt tình giúp đỡ nghiên cứu sinh trong quá trình hoàn thành luận án.

Nghiên cứu sinh cũng gửi lời cảm ơn chân thành đến các thầy cô trong trường Cơ Khí – Ô Tô, các thầy cô, các nhà khoa học trong và ngoài trường đã cổ vũ, động viên và đóng góp ý kiến quý báu để nghiên cứu sinh có thể hoàn thành được luận án của mình.

Cuối cùng nghiên cứu sinh xin chân thành cảm ơn gia đình, người thân đã luôn đồng hành, sát cánh cùng nghiên cứu sinh trong thời gian nghiên cứu để hoàn thành luận án.

Nghiên cứu sinh

Ngô Quang Tạo

MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN	i
LỜI CẢM ƠN	ii
MỤC LỤC.....	iii
DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT	ix
DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU	xii
DANH SÁCH HÌNH VẼ	xiv
DANH SÁCH CÁC BẢNG BIỂU.....	xix
MỞ ĐẦU	1
CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU	7
1.1. MÔI TRƯỜNG VÀ NHỮNG VẤN ĐỀ CẤP THIẾT	7
1.2. SỰ PHÁT TRIỂN NGÀNH Ô TÔ VÀ CÁC YẾU TỐ TÁC ĐỘNG	8
1.2.1. Số lượng ô tô lưu hành.....	8
1.2.2. Tác động của các yếu tố đến sự tăng trưởng.....	9
1.3. SỰ PHỤ THUỘC CỦA MỨC TIÊU THỤ NHIÊN LIỆU VÀO KHỐI LƯỢNG.....	10
1.3.1. Sơ đồ mối quan hệ của khối lượng với lực cản chuyển động.....	10
1.3.2. Mối quan hệ của lực cản khi chuyển động với mức tiêu thụ nhiên liệu.....	12
1.4. CHỈ TIÊU ĐÁNH GIÁ TÍNH KINH TẾ NHIÊN LIỆU CỦA Ô TÔ	13
1.5. CÁC GIẢI PHÁP CHÍNH GIẢM MỨC TIÊU THỤ NHIÊN LIỆU CỦA Ô TÔ.....	14
1.5.1. Giảm khối lượng xe.....	14
1.5.2. Cải thiện hình dáng khí động học xe	14

1.5.3. Giảm lực cản lăn	15
1.5.4. Tối ưu thông số kỹ thuật và điều kiện vận hành	17
1.5.5. Các phương pháp đánh giá và mô phỏng mức tiêu thụ nhiên liệu ô tô	18
1.6. CÔNG TRÌNH NGHIÊN CỨU TRONG NƯỚC VÀ NGOÀI NƯỚC ..	19
1.6.1. Công trình nghiên cứu ngoài nước.....	19
1.6.2. Tình hình nghiên cứu trong nước.....	34
1.6.3. Khoảng trống các nghiên cứu và hướng tiếp cận của luận án	37
KẾT LUẬN CHƯƠNG 1.....	38
CHƯƠNG 2: CƠ SỞ KHOA HỌC NGHIÊN CỨU	40
2.1. MÔ HÌNH ĐỘNG LỰC HỌC CHUYÊN ĐỘNG Ô TÔ	40
2.2. MỨC TIÊU THỤ NHIÊN LIỆU VÀ TIẾT KIỆM NHIÊN LIỆU	42
2.3. CÁC MÔ HÌNH XÁC ĐỊNH MỨC TIÊU THỤ NHIÊN LIỆU TRÊN Ô TÔ.....	43
2.3.1. Mô hình điểm hoạt động trung bình của xe FC_{av}	44
2.3.2. Mô hình động lực học FC_{dyn}	48
2.3.3. Mô hình tĩnh học FC_{stat}	51
2.4. XÂY DỰNG PHƯƠNG PHÁP GIẢI MÔ HÌNH XÁC ĐỊNH FC VÀ FE	54
2.4.1. Xác định lượng tiêu thụ nhiên liệu theo phương pháp cân bằng cacbon	54
2.4.2. Tính lượng tiết kiệm nhiên liệu FE theo phương pháp xấp xỉ.....	56
2.4.3. Phương pháp tính online	57
2.4.4. Phương pháp tính đại số.....	57

2.4.5. Phương pháp mô phỏng số.....	58
2.5. LỰA CHỌN MÔ HÌNH MÔ PHỎNG	58
2.6. XÂY DỰNG THUẬT TOÁN FC_{STAT} VÀ PHƯƠNG PHÁP MÔ PHỎNG SIMULINK	59
2.6.1. Sơ đồ thuật toán.....	60
2.6.2. Nội dung và trình tự thực hiện thuật toán.	61
2.6.3. Mô phỏng xác định các thông số trên Simulink	64
KẾT LUẬN CHƯƠNG 2.....	65
CHƯƠNG 3: PHÂN TÍCH ẢNH HƯỞNG CỦA KHỐI LƯỢNG ĐẾN MỨC TIÊU THỤ NHIÊN LIỆU TRÊN Ô TÔ	67
3.1. NHỮNG GIẢ THIẾT CHÍNH.....	67
3.2. XÁC ĐỊNH CÁC DỮ LIỆU TRONG KHÔNG GIAN N CHIỀU	68
3.2.1. Thu thập dữ liệu theo thời gian thực	68
3.2.2. Vận tốc xe theo thời gian thực	68
3.2.3. Kiểm soát điều kiện dữ liệu ổn định	69
3.3. XÁC ĐỊNH CÁC DỮ LIỆU TRONG KHÔNG GIAN M CHIỀU.....	70
3.3.1. Dữ liệu lực cản lăn trên đường.....	70
3.3.2. Dữ liệu lực cản dốc trên đường.....	71
3.3.3. Dữ liệu lực cản khí động học	71
3.3.4. Dữ liệu lực kéo tổng cộng.....	73
3.3.5. Dữ liệu suất tiêu hao nhiên liệu riêng có ích.....	73
3.3.6. Dữ liệu hiệu suất hệ thống truyền lực	74
3.4. MÔ PHỎNG QUAN HỆ CỦA KHỐI LƯỢNG XE ĐẾN CÁC LỰC	

CẢN CHUYỂN ĐỘNG VÀ MỨC TIÊU THỤ NHIÊN LIỆU	74
3.5. PHÂN TÍCH KẾT QUẢ MÔ PHỎNG.....	76
3.5.1. Chu trình lái xe.....	76
3.5.2. Công suất tiêu thụ của động cơ.....	77
3.5.3. Lực cản lăn.....	78
3.5.4. Lực cản khí động học.....	82
3.5.5. Lực cản dốc.....	82
3.5.6. Lực kéo tổng cộng.....	83
3.5.7. Mức tiêu thụ nhiên liệu.....	84
3.5.8. Nhận xét.....	85
3.6. ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP GIẢM MỨC TIÊU THỤ NHIÊN LIỆU BẰNG LỰA CHỌN VẬT LIỆU NHẸ SỬ DỤNG TRÊN THÂN VỎ	87
3.6.1. Sơ đồ phân bố các loại vật liệu trên khung vỏ xe	87
3.6.2. Khả năng sử dụng vật liệu nhẹ trên khung vỏ xe.....	88
3.6.3. Tỷ lệ phân bố khối lượng trên xe	91
3.6.4. Tiêu chí lựa chọn vật liệu nhẹ và cơ sở thay đổi khối lượng.....	92
3.6.5. Các lực cản chuyển động trong sử dụng vật liệu composite trên khung vỏ.....	93
3.7. ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ CỦA XE SỬ DỤNG VẬT LIỆU NHẸ	96
3.7.1. Hiệu quả về kỹ thuật, nhiên liệu, môi trường	96
3.7.2. Hiệu quả kinh tế	97
KẾT LUẬN CHƯƠNG 3.....	99
CHƯƠNG 4: NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM.....	101

4.1. NHỮNG PHƯƠNG PHÁP THÍ NGHIỆM XÁC ĐỊNH MỨC TIÊU THỤ NHIÊN LIỆU TRÊN Ô TÔ.....	101
4.1.1. Thí nghiệm đo trên bệ thử.....	101
4.1.2. Đo trực tiếp trên xe đang chạy trên đường	101
4.2. MỤC TIÊU, PHƯƠNG PHÁP, ĐỐI TƯỢNG THÍ NGHIỆM.....	102
4.2.1. Mục tiêu thí nghiệm	102
4.2.2. Phương pháp thí nghiệm	103
4.2.3. Đối tượng thí nghiệm	103
4.2.4. Người lái xe.....	103
4.3. THIẾT BỊ THÍ NGHIỆM	103
4.3.1. Sơ đồ kết nối các thiết bị thí nghiệm	104
4.3.2. Các thiết bị và dụng cụ thí nghiệm	104
4.4. QUÁ TRÌNH THÍ NGHIỆM	111
4.4.1. Xây dựng lộ trình xe chạy thí nghiệm.....	111
4.4.2. Quy trình thí nghiệm	114
4.4.3. Xác lập điều kiện dữ liệu ổn định	116
4.5. THU THẬP VÀ XỬ LÝ KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM.....	117
4.5.1. Chuẩn bị các file dữ liệu	117
4.5.2. Quá trình thực hiện.....	118
4.5.3. Kết quả thí nghiệm	118
4.6. ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM.....	120
4.6.1. Xây dựng phương trình hồi quy thực nghiệm.....	120
4.6.2. Đánh giá độ tin cậy của các hệ số hồi quy	122

4.6.3. Phân tích ảnh hưởng của các yếu tố đến mức tiêu thụ nhiên liệu.....	123
4.6.4. So sánh kết quả thí nghiệm và mô phỏng	128
KẾT LUẬN CHƯƠNG 4.....	134
KẾT LUẬN	137
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	140
PHỤ LỤC	152

DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT

Viết tắt	Tiếng Anh	Tiếng Việt
ABS	Acrylonitrile Butadiene Styrene	Nhựa dẻo bền
ADC	Analog-to-Digital Converter	Hệ thống mạch thực hiện chuyển đổi một tín hiệu analog liên tục
Av	Average Operating Point Model	Mô hình điểm hoạt động trung bình
CAFE	Corporate Average Fuel Economy	Khung tiêu chuẩn tiết kiệm nhiên liệu trung bình doanh nghiệp
CFD	Computational Fluid Dynamics	Động lực học chất lỏng
CFR	Code of Federal Regulation	Luật quản lý Liên bang
COP	Conference of parties	Hội nghị biến đổi khí hậu
DAQ	Data Acquisition	Thu thập dữ liệu
Dy	Dynamic Fuel Consumption Model	Mô hình động lực học
EC	Energy Consumption	Tiêu thụ năng lượng
ECU	Electronic Control Unit	Bộ điều khiển trung tâm
EPA	United states Environmental Protection Agency	Cơ quan Bảo vệ Môi trường Hoa Kỳ
ERV	Energy reduction value	Giá trị giảm năng lượng
EUDC	European Driving Cycle	Chu trình lái xe Châu âu
FC	Fuel consumption	Tiêu thụ nhiên liệu
FE	Fuel economy	Mức tiết kiệm nhiên liệu
FEM	Finite Element Model	Mô hình phần tử hữu hạn
FFT	Fast Fourier transform	Phép biến đổi Fourier nhanh
FRV	Fuel reduction value	Giá trị lượng giảm nhiên liệu

FSS	Full system simulation	Mô phỏng hệ thống nhiên liệu
FTP	Federal Test Procedure	Quy trình kiểm tra liên bang
GHG	Greenhouse gas	Phát thải khí nhà kính
GHG	Greenhouse gas	Phát thải khí nhà kính
GPS	Global Positioning System	Hệ thống định vị
GVW	Gross vehicle weight	Trọng lượng tổng cộng của xe
HASS	Advanced High-Strength Steel	Thép hợp kim tấm có độ bền cao
HSLA	High Strength Low Alloy	Thép hợp kim tấm có độ bền cao
HVAC	Heating Ventilating and Air Conditioning	Thu hồi nhiệt khí thải và điều khiển
HWFET	Highway Fuel Economy Test	Kiểm tra hiệu suất nhiên liệu trên đường cao tốc
IMO	International Maritime Organization	Tổ chức Hàng hải Quốc tế
IRV	Impact Reduction Value	Giá trị tác động
LCFS	Low – Carbon fuel standard	Tiêu chuẩn Nhiên liệu cacbon Thấp
LDV	Light duty vehicle	Xe tải hạng nhẹ
LPG	Liquefied Petroleum Gas	Khí hóa lỏng
M	Mass	Khối lượng
MIT	Massachusetts Institute of Technology	Viện Công nghệ Massachusetts
MPI	Multi Point Injection	Hệ thống phun xăng điện tử
NEDC	New European driving cycle	Chu trình Lái xe Châu Âu Mới
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration	Cục Quản lý An toàn Giao thông Đường cao tốc
NRC	National Research Council	Hội đồng Nghiên cứu Quốc gia
NG	Natural gas	Khí tự nhiên
PC	Polycarbonate	Nhựa Polycarbonate

PDA	Partial Discrete Approximation	Mô hình xấp xỉ rời rạc từng phần
RTM	Resin Transfer Molding	Công nghệ hút chân không
SAE	Society of Automotive Engineers	Hội kỹ sư ô tô
Stat	Static Fuel Consumption Model	Mô hình tĩnh học
TDI	Turbo-Diesel Direct Injection	Động cơ diesel tăng áp phun trực tiếp
VAMA	Vietnam Automobile Manufacturers' Association	Hiệp hội các nhà sản xuất ô tô Việt Nam
VOC	Volatile Organic Compounds	Hợp chất hữu cơ bay hơi
VSP	Vehicle Specific Power	Công suất riêng của ô tô
VTT	Valtion teknillinen tutkimuskeskus	Trung tâm nghiên cứu kỹ thuật của Phần Lan
ZEV	Zero Emission Vehicle	Phương tiện Không Phát thải

DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
α	%	Độ dốc mặt đường
A_f	m ²	Diện tích cản chính diện
C_d		Hệ số cản không khí
C_{rr}		Hệ số cản lăn
D_f		Những nhân tố ảnh hưởng của điều kiện hoạt động khác
G	kg	Trọng lượng xe
g_e	kg/kWh	Suất tiêu hao nhiên liệu có ích của động cơ
G_T	tấn	Khối lượng hàng hóa chuyên chở
i_t		Tỷ số truyền HTTL
j	m/s ²	Gia tốc chuyển động
L_D	W	Công suất cản không khí
N_e	kW	Công suất động cơ
P_c	N	Tổng các lực cản chuyển động
P_f	N	Lực cản lăn
P_i	N	Lực cản xe lên, xuống dốc
P_j	N	Lực quán tính
P_k	N	Lực kéo
P_w	N	Lực cản khí động học
Q	lít	Lượng tiêu thụ nhiên liệu của động cơ trên một đơn vị quãng đường xe chạy
Q_H	J/kg	Nhiệt trị thấp của nhiên liệu
q_d	L/100 km	Mức tiêu thụ nhiên liệu
r_{bx}	m	Bán kính bánh xe
S_G	kg/h	Lượng tiêu thụ nhiên liệu trong 1 giờ tại mức công

		suất P_e
T_e	N.m	Mô men xoắn động cơ
v	km/h	Vận tốc trung bình xe
η_a		Tổn thất do các thiết bị phụ trợ
η_e		Hiệu suất động cơ
η_t		Hiệu suất hệ thống truyền lực
δ		Hệ số ảnh hưởng bởi khối lượng chuyển động tịnh tiến và quay
ρ	kg/m ³	Mật độ không khí
ρ_n	kg/l	Tỷ trọng của nhiên liệu

DANH SÁCH HÌNH VẼ

Hình 1.1. Quan hệ của vật liệu chế tạo, lực cản chuyển động và tiêu thụ nhiên liệu	10
Hình 1.2. Thay đổi khối lượng xe và công suất xe theo các năm	11
Hình 1.3. Thay đổi về lượng nhiên liệu tiêu thụ và model xe	12
Hình 1.4. Sơ đồ các lực cản trên ô tô	12
Hình 1.5. Tỷ lệ lực cản khi chuyển động của ô tô theo loại đường	15
Hình 1.6. Phân bố tiêu thụ năng lượng của ô tô khi chạy	16
Hình 1.7. Phân bố lượng nhiên liệu theo đường giao thông	16
Hình 1.8. Đồ thị thay đổi mức tiêu thụ nhiên liệu theo tốc độ quay động cơ.	25
Hình 1.9. Sơ đồ thí nghiệm đo tiêu thụ nhiên liệu xe tải nhẹ ở Colombia	26
Hình 1.10. Sơ đồ lắp ráp thiết bị thí nghiệm	26
Hình 1.11. Sơ đồ kết nối các thiết bị thí nghiệm	28
Hình 1.12. Đồ thị kết quả thí nghiệm mức tiêu hao nhiên liệu	29
Hình 1.13. Sơ đồ thí nghiệm mức tiêu thụ nhiên liệu động cơ trên bộ thử AVL	30
Hình 1.14. Đồ thị kết quả thí nghiệm	31
Hình 1.15. Sơ đồ bộ thử thí nghiệm mức tiêu thụ nhiên liệu xe tải của AVL	31
Hình 1.16. Kết quả thu được quan hệ khối lượng xe đến mức tiêu thụ kWh.	32
Hình 1.17. Tiêu thụ năng lượng của 28 ngành kinh tế tại Việt Nam năm 1996, 2000, 2007, 2012 và 2018	34
Hình 1.18. Tiêu thụ năng lượng của các ngành dịch vụ vận tải (1996–2018)	35
Hình 1.19. Tem nhãn mức tiêu thụ nhiên liệu trên ô tô	36

Hình 2.1. Sơ đồ mô hình động lực học dọc ô tô	40
Hình 2.2. Biểu thị hệ giữa FC và FE.....	43
Hình 2.3. Mô hình hóa tính toán mức tiêu thụ nhiên liệu trên động cơ đốt trong	44
Hình 2.4. Sơ đồ Simulink ứng dụng xác định mức tiêu thụ nhiên liệu trên ô tô theo mô hình điểm hoạt động trung bình của xe.....	46
Hình 2.5. Đồ thị kết quả mô phỏng xác định mức tiêu thụ nhiên liệu trên ô tô theo mô hình điểm hoạt động trung bình của xe.....	47
Hình 2.6. Sơ đồ thuật toán FC_{stat} theo mô hình tĩnh học.....	60
Hình 2.7. Các biến thông số thuộc không gian thực R biểu diễn trong Matlab Simulink	64
Hình 3.1. Dạng bảng kết quả File dữ liệu theo thời gian thực.....	68
Hình 3.2. Đồ thị vận tốc xe chạy theo thời gian thực	69
Hình 3.3. Sơ đồ khối Simulink xác định lực cản lăn	70
Hình 3.4. Sơ đồ khối Simulink xác định lực cản dốc	71
Hình 3.5. Phân tích CFD trên xe Toyota Vios 2009 xác định hệ số C_d	72
Hình 3.6. Sơ đồ khối Simulink xác định lực cản khí động học	72
Hình 3.7. Sơ đồ khối Simulink xác định lực kéo tổng cộng.....	73
Hình 3.8. Kết quả mô phỏng Matlab suất tiêu hao nhiên liệu riêng có ích g_e	74
Hình 3.9. Sơ đồ khối Simulink tính toán FC của lộ trình xe chạy.....	75
Hình 3.10. Sơ đồ khối Simulink quy đổi đơn vị và hiển thị kết quả	75
Hình 3.11. Sơ đồ khối Simulink hai khối lượng xe	75
Hình 3.12. Đồ thị chu trình lái xe đến giây 3681.....	77

Hình 3.13. Đồ thị công suất tiêu thụ của động cơ ở các khối lượng khác nhau	77
Hình 3.14. Hình ảnh biến dạng trong mô phỏng.....	79
Hình 3.15. Năng lượng biến dạng và lực cản lăn của lớp xe	80
Hình 3.16. Đồ thị lực cản lăn ở khối lượng xe khác nhau	80
Hình 3.17. Đồ thị lực cản khí động học ở các khối lượng xe khác nhau.....	82
Hình 3.18. Đồ thị lực kéo tổng cộng ở các khối lượng xe khác nhau	83
Hình 3.19. Đồ thị mức tiêu thụ nhiên liệu ở các khối lượng xe khác nhau	84
Hình 3.20. Đồ thị thể hiện lượng tiêu thụ nhiên liệu FC theo 10 khối lượng.	86
Hình 3.21. Sơ đồ phân bố cấu trúc vật liệu trên thân vỏ xe con	87
Hình 3.22. Sơ đồ phân bố yêu cầu sử dụng vật liệu theo độ cứng.....	88
Hình 3.23. Tỷ lệ sử dụng các vật liệu trên xe ô tô	89
Hình 3.24. Sơ đồ phân bố khối lượng trên xe con	91
Hình 3.25. Quan hệ của mức giảm tiêu thụ nhiên liệu và khối lượng xe	92
Hình 3.26. So sánh khối lượng xe truyền thống và xe sử dụng vật liệu CFRP	93
Hình 3.27. Đồ thị lực cản lăn trong thời gian tăng tốc	94
Hình 3.28. Đồ thị lực cản dốc trong thời gian tăng tốc.....	95
Hình 3.29. Đồ thị lực cản lăn trong thời gian giảm tốc	95
Hình 3.30. Đồ thị lực cản dốc trong thời gian giảm tốc	96
Hình 4.1. Cách đo nhiên liệu xe chạy trên đường theo tiêu chuẩn SAE J1321	102
Hình 4.2. Xe sử dụng trong thí nghiệm.....	103

Hình 4.3. Sơ đồ kết nối thiết bị thí nghiệm trên xe thí nghiệm	104
Hình 4.4. ECU động cơ Toyota Vios 2009 loại 89661-0D240.....	105
Hình 4.5. Bộ GPS hành trình sử dụng trên xe thí nghiệm	105
Hình 4.6. Cân điện tử sử dụng trong thí nghiệm.....	106
Hình 4.7. Cụm cân điện tử	106
Hình 4.8. Cáp nối RS232 nối cân điện tử với máy tính.....	107
Hình 4.9. Giao diện phần mềm cân điện tử	108
Hình 4.10. Sơ đồ mạch đếm số lần đạp phanh.....	109
Hình 4.11. Sơ đồ mạch vận tốc góc bánh xe.....	110
Hình 4.12. Chu trình xe chạy trong thí nghiệm	111
Hình 4.13. Lộ trình xe chạy thí nghiệm thứ nhất.....	112
Hình 4.14. Lộ trình xe chạy thí nghiệm thứ hai.....	113
Hình 4.15. Lộ trình xe chạy thí nghiệm thứ ba.....	114
Hình 4.16. Lắp đặt thiết bị thí nghiệm	114
Hình 4.17. Cài đặt thông số kỹ thuật.....	115
Hình 4.18. Kết nối phần mềm Kisster.....	115
Hình 4.19. Đồ thị lực bàn đạp phanh trong 3 lộ trình.....	116
Hình 4.20. Đồ thị phần trăm độ mở bướm ga trong 3 lộ trình.....	117
Hình 4.21. Dạng bảng kết quả File dữ liệu theo thời gian thực.....	118
Hình 4.22. Đồ thị vận tốc xe chạy thí nghiệm	119
Hình 4.23. Mức tiêu thụ nhiên liệu đo được trên xe thí nghiệm.....	120
Hình 4.24. Đồ thị quan hệ xác định R^2 của FC_{stat} với x_1, x_2, x_3	123

Hình 4.25. Giao diện khởi chạy phần mềm Minitab.....	124
Hình 4.26. Ảnh hưởng của vận tốc x_1 đến Y	125
Hình 4.27. Ảnh hưởng của khối lượng x_2 đến Y	126
Hình 4.28. Ảnh hưởng của khí động học x_3 đến Y	127
Hình 4.29. Mức độ ảnh hưởng của các thông số khối lượng và vận tốc xe .	128
Hình 4.30. Các bước lọc làm sạch dữ liệu vận tốc xe chạy trong thí nghiệm	129
Hình 4.31. Sơ đồ Simulink so sánh toàn diện kết quả FC thí nghiệm và mô phỏng.....	131
Hình 4.32. Đồ thị so sánh kết quả FC thí nghiệm và mô phỏng.....	131

DANH SÁCH CÁC BẢNG BIỂU

Bảng 1.1: Thống kê lượng xe, số km và tiêu thụ lượng nhiên liệu.....	9
Bảng 1.2. Tiết kiệm nhiên liệu do sử dụng lốp tiết kiệm nhiên liệu không thay đổi tỉ số truyền.....	17
Bảng 1.3. Tiết kiệm nhiên liệu nhờ sử dụng lốp tiết kiệm nhiên liệu sau khi thay đổi tỉ số truyền.....	17
Bảng 2.1. Các số liệu của mô hình.....	40
Bảng 2.2. Giá trị nhiệt trị của hai nhiên liệu chính.....	45
Bảng 2.3. Các hệ số a, b, c và d mục tiêu.....	56
Bảng 3.1. Công suất tiêu thụ trung bình của động cơ P_e (kW).....	78
Bảng 3.2. Lực cản lăn trung bình P_f (N).....	81
Bảng 3.3. Lực cản khí động học trung bình P_w (N).....	82
Bảng 3.4. Lực kéo tổng cộng P_k (N).....	83
Bảng 3.5. Mức tiêu thụ nhiên liệu FC_{stat} (lít/100 km).....	85
Bảng 3.6. Dự báo tỷ lệ sử dụng vật liệu nhẹ đến 2040 và cải thiện trọng lượng loại vật liệu.....	88
Bảng 3.7. Phân tích khối lượng xe mô phỏng.....	93
Bảng 3.8. Đánh giá tính kinh tế sử dụng nhiên liệu của xe.	98
Bảng 4.1. Giá trị của Y và các yếu tố ảnh hưởng.....	122
Bảng 4.2. Tổng hợp kết quả chạy thí nghiệm ngày 07/4/2024, $m55 = 1170$ kg.....	128
Bảng 4.3. Tổng hợp kết quả chạy thí nghiệm ngày 14/04/2024 với $m44 = 1053$ kg.....	134

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài

Kinh tế Việt Nam đang phát triển mạnh, đời sống người dân ngày càng được nâng cao, kéo theo nhu cầu sở hữu và sử dụng ô tô cỡ nhỏ, đặc biệt là dòng xe 5 chỗ ngồi, ngày càng gia tăng. Sự gia tăng nhanh về số lượng phương tiện giao thông làm nhu cầu nhiên liệu cho lĩnh vực vận tải tăng đáng kể, vì vậy vấn đề tiêu thụ và sử dụng nhiên liệu hiệu quả trở thành yêu cầu cấp thiết không chỉ đối với người sử dụng mà còn đối với các nhà sản xuất, lắp ráp ô tô, các nhà nghiên cứu lĩnh vực cơ khí động lực và các cơ quan quản lý nhà nước.

Giá nhiên liệu trên thế giới và tại Việt Nam luôn biến động dưới tác động của các yếu tố kinh tế, địa chính trị và môi trường toàn cầu. Sự biến động này làm gia tăng chi phí vận hành phương tiện giao thông, ảnh hưởng trực tiếp đến người sử dụng. Vì vậy, việc nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến mức tiêu thụ nhiên liệu của ô tô nhằm phục vụ cải tiến thiết kế, sử dụng và khai thác vận hành là yêu cầu cấp thiết, có ý nghĩa quan trọng cả về kinh tế và xã hội.

Trong số nhiều yếu tố ảnh hưởng đến mức tiêu thụ nhiên liệu của ô tô như đặc tính động cơ, hệ thống truyền lực, hình dạng xe, điều kiện vận hành và thói quen lái xe, khối lượng ô tô là một yếu tố cơ bản nhưng chưa được quan tâm đúng mức trong thực tiễn nghiên cứu tại Việt Nam. Theo định luật II Newton, lực cần thiết để di chuyển vật tỉ lệ thuận với khối lượng của nó; do đó, khi khối lượng xe tăng, động cơ phải sinh công lớn hơn để thắng quán tính và các lực cản chuyển động như lực cản lăn, lực cản khi leo dốc và tăng tốc. Vì vậy, mức tiêu thụ nhiên liệu của ô tô cũng tăng tương ứng, ảnh hưởng trực tiếp đến mức tiêu hao nhiên liệu tổng thể của phương tiện.

Việc nghiên cứu khoa học, chuyên sâu mối quan hệ giữa khối lượng ô tô 5 chỗ và mức tiêu thụ nhiên liệu có ý nghĩa thực tiễn lớn. Đối với các hãng sản

xuất – lắp ráp, kết quả nghiên cứu là cơ sở để tối ưu thiết kế, sử dụng vật liệu nhẹ và giảm khối lượng xe mà vẫn bảo đảm độ bền, an toàn. Đối với người sử dụng, nghiên cứu giúp hiểu rõ ảnh hưởng của khối lượng xe đến chi phí vận hành để lựa chọn và sử dụng phương tiện hiệu quả hơn. Đồng thời, giảm khối lượng xe còn góp phần giảm tiêu hao nhiên liệu và phát thải CO₂, phù hợp với xu hướng phát triển xanh và mục tiêu giảm phát thải của Việt Nam.

Từ những vấn đề nêu trên, khẳng định rằng đề tài “*Nghiên cứu ảnh hưởng của khối lượng ô tô 5 chỗ đến mức tiêu thụ nhiên liệu*” là cần thiết và có ý nghĩa thiết thực, đóng góp một yếu tố quan trọng trong bài toán tiết kiệm nhiên liệu, nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng, đồng thời hỗ trợ định hướng cho công tác thiết kế, sản xuất-lắp ráp và sử dụng ô tô ở Việt Nam trong tương lai.

2. Tính mới của luận án

Từ việc nghiên cứu các công trình đã công bố ở ngoài nước và trong nước về tiêu thụ nhiên liệu của ô tô, nhận thấy rằng các nghiên cứu chủ yếu vào: đặc tính của động cơ, hệ thống dẫn động, khí động học hoặc điều kiện sử dụng, vận hành. Các nghiên cứu thường tiếp cận theo hướng mô hình hóa hoặc thực nghiệm độc lập. Trong khi đó, các nghiên cứu chuyên sâu đánh giá định lượng ảnh hưởng riêng biệt của khối lượng ô tô đến mức tiêu thụ nhiên liệu, đặc biệt đối với ô tô con 5 chỗ trong điều kiện giao thông tại Việt Nam, còn tương đối hạn chế.

Từ thực tế đó, luận án đề xuất một phương pháp tiếp cận mới tích hợp giữa mô hình động lực học, mô phỏng và thực nghiệm nhằm làm rõ mối quan hệ giữa khối lượng tổng thể của ô tô và mức tiêu thụ nhiên liệu trong hoạt động thực tế. Trên cơ sở này, luận án có các điểm mới sau:

– Luận án phân tích và xây dựng mối quan hệ định lượng giữa khối lượng của ô tô 5 chỗ và mức tiêu thụ nhiên liệu trên cơ sở mô hình động lực học chuyển động dọc của ô tô. Khác với nhiều nghiên cứu trước đây thường xem

khối lượng như một tham số phụ trong các bài toán tối ưu tổng thể, luận án tập trung nghiên cứu chuyên sâu ảnh hưởng riêng rẽ của khối lượng đến các lực cản chuyển động và tiêu thụ nhiên liệu trong khi vận hành cụ thể;

– Luận án xây dựng thuật toán tính toán và mô hình mô phỏng FC_{stat} trên nền tảng Matlab/Simulink, cho phép xác định mức tiêu thụ nhiên liệu của ô tô khi thay đổi khối lượng trong vận hành các chế độ khác nhau. Mô hình được tổ chức theo cấu trúc rõ ràng, thể hiện mối quan hệ giữa các đại lượng đầu vào – đầu ra, đồng thời so sánh trực tiếp kết quả mô phỏng lý thuyết với kết quả đo thực nghiệm, làm nâng cao sự tin cậy của phương pháp mô phỏng;

– Luận án đưa ra và triển khai phương pháp đo mức tiêu thụ nhiên liệu trên ô tô theo thời gian thực, thông qua thiết kế, chế tạo và kiểm định bộ đo phục vụ nghiên cứu. Bộ đo cho phép thu thập đồng thời các thông số làm việc quan trọng của ô tô như vận tốc xe, lực bàn đạp phanh, độ mở bướm ga và mức tiêu thụ nhiên liệu theo thời gian thực, thu được bộ dữ liệu thực nghiệm nhằm phân tích và đánh giá;

– Việc kết hợp giữa mô hình lý thuyết, mô phỏng và kết quả thực nghiệm, luận án đã xác lập được hàm thực nghiệm biểu diễn mối quan hệ giữa khối lượng ô tô và mức tiêu thụ nhiên liệu với độ phù hợp cao. Kết quả đánh giá so sánh cho thấy sai khác giữa mô phỏng và thực nghiệm nằm trong phạm vi chấp nhận được. Từ đó làm rõ tính chính xác cũng như khả năng áp dụng trong thực tiễn của phương pháp nghiên cứu đã đề xuất;

– Dựa trên kết quả nghiên cứu, luận án đề xuất định hướng giảm mức tiêu thụ nhiên liệu thông qua giải pháp giảm khối lượng xe, trong đó nhấn mạnh việc chọn lựa và ứng dụng vật liệu nhẹ trên thân vỏ ô tô, nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng nhiên liệu và giảm thiểu mức phát thải trong khai thác thực tế.

Như vậy, tính mới của luận án không chỉ thể hiện ở nội dung nghiên cứu mà còn ở cách tiếp cận kết hợp giữa mô hình lý thuyết, mô phỏng số và thực

nghiệm, phù hợp với điều kiện khai thác ô tô ở Việt Nam.

3. Mục tiêu nghiên cứu của luận án, đối tượng, phạm vi nghiên cứu

a) Mục tiêu của đề tài luận án:

Mục tiêu tổng quát: Nghiên cứu, phân tích và định lượng mức độ ảnh hưởng của khối lượng xe ô tô con 5 chỗ đến mức tiêu thụ nhiên liệu, từ đó đề xuất các giải pháp kỹ thuật và khuyến nghị nhằm tối ưu hóa hiệu quả sử dụng nhiên liệu trong điều kiện vận hành thực tế tại Việt Nam

Mục tiêu cụ thể:

– Xây dựng cơ sở lý thuyết về mối quan hệ giữa khối lượng xe và mức tiêu thụ nhiên liệu. Hệ thống hóa các mô hình lý thuyết động lực học xe liên quan đến ảnh hưởng của khối lượng đến lực cản, lực kéo và công suất tiêu thụ. Xác định các thông số khối lượng đặc trưng của xe con (khối lượng bản thân, khối lượng toàn tải, phân bố tải trọng) và cơ chế tác động của chúng đến tiêu hao năng lượng.

– Xây dựng mô hình toán học mô tả quan hệ giữa khối lượng xe và mức tiêu thụ nhiên liệu. Thiết lập phương trình và mô hình tính toán lý thuyết biểu diễn mức tiêu thụ nhiên liệu theo khối lượng xe trong các chế độ vận hành khác nhau (đô thị, ngoại ô, cao tốc). Kiểm chứng độ chính xác của mô hình thông qua so sánh với dữ liệu thực nghiệm

– Thực nghiệm đo lường mức tiêu thụ nhiên liệu trên xe con trên đường chạy thực tế. Thiết kế quy trình thực nghiệm đo mức tiêu thụ nhiên liệu theo điều kiện Việt Nam. Thu thập và xử lý số liệu thực nghiệm trên ít nhất 3–5 chu trình xe chạy thực tế.

– Phân tích định lượng mức độ ảnh hưởng của khối lượng đến tiêu thụ nhiên liệu. Xác định hàm tương quan và hệ số ảnh hưởng giữa khối lượng xe và mức tiêu thụ nhiên liệu (L/100 km) theo từng chế độ vận hành. Đánh giá và phân tích đóng góp riêng của khối lượng so với các yếu tố khác (hệ số cản khí động,

hệ số cản lăn...).

– Đề xuất giải pháp và khuyến nghị ứng dụng. Đề xuất các giải pháp kỹ thuật giảm khối lượng xe bằng sử dụng vật liệu nhẹ nhằm cải thiện hiệu quả nhiên liệu.

b) Đối tượng nghiên cứu:

Là mối quan hệ giữa khối lượng tổng thể của ô tô 5 chỗ với mức tiêu thụ nhiên liệu thông qua các yếu tố trung gian gồm lực cản chuyển động, công suất động cơ và đặc tính truyền lực.

Đối tượng khảo sát cụ thể là xe Toyota Vios 5 chỗ, được lựa chọn do có đặc tính kỹ thuật phổ biến trong phân khúc xe con tại Việt Nam, thuận lợi cho mô phỏng và thực nghiệm.

c) Phạm vi nghiên cứu:

Khảo sát, mô phỏng và thực nghiệm ảnh hưởng của khối lượng tổng thể ô tô con 5 chỗ (Toyota Vios 2009) đến mức tiêu thụ nhiên liệu trong điều kiện hoạt động thực tế ở Việt Nam. Nghiên cứu được xây dựng trên cơ sở mô hình động lực học chuyển động và mô hình mô phỏng tiêu thụ nhiên liệu của ô tô, kết hợp với thực nghiệm đo mức tiêu thụ nhiên liệu nhằm kiểm chứng kết quả mô hình.

4. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn.

– Ý nghĩa khoa học: Luận án đã thiết lập được nền tảng khoa học cần thiết cho quá trình tính toán và mô phỏng, phản ánh bản chất mối quan hệ giữa khối lượng xe, các lực cản chuyển động đến mức tiêu thụ nhiên liệu trên ô tô, trên cơ sở đó mô phỏng thay thế khối lượng thân vỏ xe thực tế bằng thân vỏ xe sử dụng vật liệu nhẹ. Một phương pháp luận nghiên cứu thực nghiệm đã được xây dựng để xác định mức tiêu thụ nhiên liệu trong chuyển động thực tế của ô tô trên đường. Các kết quả nghiên cứu lý thuyết kết hợp với thực nghiệm trong

luận án đã đóng góp vào việc hoàn thiện cơ sở dữ liệu khoa học phục vụ tính toán, mô phỏng và thực nghiệm xác định mức tiêu thụ nhiên liệu cho các dòng xe tương đương, qua đó góp phần bổ sung cơ sở khoa học làm tiền đề cho các nghiên cứu về sử dụng năng lượng hiệu quả và kiểm soát phát thải trong giao thông vận tải.

– Ý nghĩa thực tiễn: Hỗ trợ các nhà sản xuất trong giai đoạn thiết kế, tính toán và hoàn thiện kết cấu xe tối ưu hơn về khối lượng, đóng góp vào mục tiêu phát triển các phương tiện giao thông nhằm hướng tới phát triển bền vững và giảm các tác động bất lợi đối với môi trường.

– Tính ứng dụng: Luận án đáp ứng yêu cầu và định hướng phát triển của lĩnh vực công nghiệp ô tô trong giai đoạn hiện nay khi các hãng sản xuất xe liên tục cải tiến áp dụng vật liệu nhẹ trên xe, áp dụng công nghệ mới nhằm giảm trọng lượng xe mà vẫn đảm bảo tính an toàn, độ bền và hiệu quả khai thác.

– Ý nghĩa đối với người sử dụng ô tô: Không chỉ có ý nghĩa về mặt kỹ thuật, kết quả nghiên cứu còn góp phần nâng cao sự hiểu biết của người sử dụng về ý nghĩa của việc giảm tải trọng không cần thiết để tiết kiệm nhiên liệu.

5. Nội dung nghiên cứu và bố cục của luận án:

Luận án có 04 chương:

– Chương 1: Tổng quan vấn đề nghiên cứu

– Chương 2: Cơ sở khoa học nghiên cứu

– Chương 3: Phân tích ảnh hưởng của khối lượng đến mức tiêu thụ nhiên liệu trên ô tô

– Chương 4: Nghiên cứu thực nghiệm

CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU

1.1. MÔI TRƯỜNG VÀ NHỮNG VẤN ĐỀ CẤP THIẾT

Hội nghị COP21, được tổ chức tại Paris (Pháp), hướng tới việc triển khai các cam kết quốc gia nhằm cắt giảm phát thải khí nhà kính, trong bối cảnh lượng phát thải toàn cầu được dự báo có thể tăng từ 12 lên 14 tỷ tấn vào năm 2030 và nhiệt độ trung bình toàn cầu có nguy cơ tăng khoảng 3,4°C vào cuối thế kỷ XXI. Để đạt được các mục tiêu này, nhiều chính sách về công nghệ và tài chính đã được đề xuất và triển khai.

Tháng 11/2021, Hội nghị COP26 tại Scotland đã khẳng định vai trò trung tâm của ứng phó với biến đổi khí hậu và phục hồi tự nhiên, trong đó thủ tướng đề xuất coi đây được xem là nội dung trọng tâm khi hoạch định chính sách, cũng như là tiêu chuẩn đạo đức chung cho toàn xã hội [1].

Tại Hoa Kỳ, bang California đã ban hành một số chính sách và khuyến khích, như quy định về LCFS và phương tiện không phát thải (ZEV), nhằm mục đích giảm 80% lượng phát thải GHG vào năm 2050. EPA và NHTSA đã cùng nhau xây dựng các quy định đầu tiên trên thế giới chú trọng đến việc giảm phát thải khí nhà kính và cải thiện khả năng tiết kiệm nhiên liệu áp dụng cho xe tải hạng vừa và hạng nặng.

Trên cơ sở chương trình tiết kiệm nhiên liệu xe tải hạng vừa và hạng nặng ở Nhật Bản đã bổ sung một trong số các quy định của Mỹ. Toàn bộ chương trình của Hoa Kỳ nhằm đạt các mục đích chính:

- (1) Xây dựng các tiêu chuẩn cho bốn loại khí nhà kính chính kèm theo đó là các tiêu chuẩn về tiết kiệm nhiên liệu các loại xe;
- (2) Đặt ra tiêu chuẩn riêng cho động cơ và xe ô tô.

Các giải pháp bảo vệ môi trường trong lĩnh vực giao thông vận tải có thể được thực hiện theo các cách tiếp cận đa dạng, bao gồm cách giảm khối lượng

xe. Tùy thuộc vào hiệu suất động cơ, tiêu thụ nhiên liệu chủ yếu để thắng được các lực cản khi chuyển động trên đường. Bằng cách sử dụng mô hình tốc độ, gia tốc và giảm tốc khác nhau, số liệu thu được trong một chu trình lái xe cho thấy khoảng 18% năng lượng mà ô tô sử dụng được dùng để thắng các lực cản khi chuyển chuyển động, lượng nhiên liệu tiêu thụ là 30,5%, 51,7% và 76,9% tại khu vực ngoại thành, đường hỗn hợp và nội thành (thương mại trung tâm) tương ứng. Có nhiều yếu tố ảnh hưởng đến lượng nhiên liệu tiêu thụ của xe, bao gồm ba yếu tố chính: (1) Các yếu tố giao thông và tình trạng đường; (2) Vận tốc, gia tốc, lực cản khí động học; (3) Tổn thất trọng lực do khối lượng xe. Ước tính khối lượng xe giảm 10% có thể làm giảm lượng nhiên liệu tiêu thụ đến 8,3%, cụ thể trên xe chở khách có tự trọng 1300 kg khi giảm 10% khối lượng sẽ giảm 6% lượng nhiên liệu tiêu thụ [2]. Theo báo cáo NRC năm 2002 đã sử dụng cách mô hình hóa và phương pháp đếm dữ liệu để kết luận rằng một trong những lý do thay đổi về khối lượng ô tô đối với những xe tải nhẹ thiết kế mới ngay từ những năm 1970 là do CAFE quy định thông qua việc giảm lượng nhiên liệu tiêu thụ [3].

1.2. SỰ PHÁT TRIỂN NGÀNH Ô TÔ VÀ CÁC YẾU TỐ TÁC ĐỘNG

1.2.1. Số lượng ô tô lưu hành

Theo thống kê của OICA, trên thế giới năm 2020 có khoảng 1,32 tỷ ô tô lưu hành, năm 2023 có khoảng 1,5 tỷ xe ô tô lưu hành, dự báo đến 2030 sẽ có khoảng 2 tỷ xe ô tô, đạt mức tăng trưởng trung bình từ 4%-5%/năm.

Theo Cục Đăng kiểm Việt Nam thống kê, đến hết tháng 11/2020, Việt Nam có tổng 4.093.975 xe đang lưu hành [4], đến cuối năm 2023 ước tính có khoảng 4,5 triệu xe ô tô các loại, mức tăng trưởng bình quân là 10%-15%/năm. Dự báo đến 2030 sẽ có hai kịch bản: Theo kịch bản thấp có 6-7 triệu xe và theo kịch bản cao có 8-9 triệu xe.

Trên thế giới, mức tiêu thụ nhiên liệu trung bình của ô tô thường vào

khoảng 7–10 lít/100 km, tùy thuộc vào loại xe và điều kiện vận hành. Với giá thiết mỗi xe di chuyển trung bình 15.000 km/năm và mức tiêu thụ khoảng 8 lít/100 km, tổng quãng đường di chuyển hằng năm của khoảng 1,32 tỷ xe đạt 19,8 nghìn tỷ km, tương ứng tổng lượng nhiên liệu tiêu thụ khoảng 1,584 nghìn tỷ lít mỗi năm.

Tại Việt Nam, ước tính mỗi xe ô tô tiêu thụ trung bình khoảng 120 lít nhiên liệu/tháng, tương đương 1.440 lít/năm. Với khoảng 4.093.975 xe và quãng đường di chuyển trung bình 10.000 km/năm, tổng quãng đường di chuyển hằng năm đạt khoảng 40,94 tỷ km, tương ứng tổng lượng nhiên liệu tiêu thụ khoảng 3,28 tỷ lít/năm

Số lượng xe, số km xe di chuyển hàng năm và lượng nhiên liệu tiêu thụ nhiên liệu được thống kê nêu trong bảng 1.1.

Bảng 1.1: Thống kê lượng xe, số km và tiêu thụ lượng nhiên liệu

Năm	Trên thế giới			Việt Nam		
	Số lượng xe các loại (tỷ chiếc)	Km xe di chuyển (nghìn tỷ km/năm)	Tổng nhiên liệu tiêu thụ (nghìn tỷ lít/năm)	Số lượng xe các loại (triệu chiếc)	Km xe di chuyển (nghìn triệu km/năm)	Tổng nhiên liệu tiêu thụ (nghìn triệu lít/năm)
2020	1,32	19,8	1,584	4,094	40,94	3,28
2023	1,5	22,5	1,8	4,5	45	3,6
2030	2	30	2,4	8	80	6,4

1.2.2. Tác động của các yếu tố đến sự tăng trưởng

1.2.2.1. Yếu tố thúc đẩy tăng trưởng

Các yếu tố như bình quân thu nhập đầu người tăng, hạ tầng giao thông được nâng cao, nhu cầu di chuyển và vận chuyển hàng hóa bằng ô tô gia tăng, cùng với giá xe giảm do sự cạnh tranh của các hãng sản xuất đã góp phần thúc đẩy thị trường ô tô phát triển mạnh

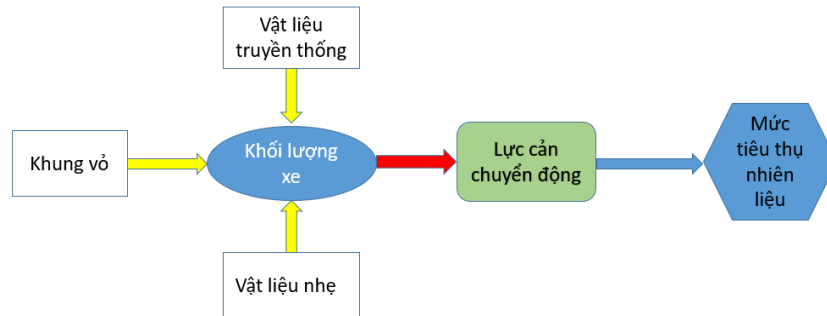
1.2.2.2. Yếu tố kìm hãm tăng trưởng

Bên cạnh đó, tác động tiêu cực của biến đổi khí hậu đến chất lượng môi trường, hạ tầng giao thông ở nhiều nơi còn hạn chế, xu hướng phát triển phương tiện giao thông công cộng và các chính sách hạn chế sử dụng phương tiện cá nhân tại các đô thị lớn cũng là những yếu tố ảnh hưởng đáng kể đến sự phát triển và sử dụng ô tô.

1.3. SỰ PHỤ THUỘC CỦA MỨC TIÊU THỤ NHIÊN LIỆU VÀO KHỐI LƯỢNG

1.3.1. Sơ đồ mối quan hệ của khối lượng với lực cản chuyển động

Khối lượng xe là thông số trung tâm phản ánh mối quan hệ giữa khung vỏ, vật liệu và lực cản chuyển động; do đó, việc sử dụng vật liệu nhẹ thay cho thép sẽ làm thay đổi khối lượng khung vỏ và lực cản của xe, hình 1.1.



Hình 1.1. Quan hệ của vật liệu chế tạo, lực cản chuyển động và tiêu thụ nhiên liệu

Từ những năm 1994, các hãng sản xuất ô tô của Mỹ đã sử dụng vật liệu composite trong công nghiệp ô tô để chế tạo khung, thùng nhằm giảm trọng lượng và tiết kiệm nhiên liệu. Tiếp theo, vật liệu composite sử dụng trên những xe cao cấp do có những tính năng vượt trội do ô tô nhẹ hơn, ít bị ăn mòn hơn, độ bền chắc, chịu lực tốt và giá thành rẻ hơn so với nhôm, thép.

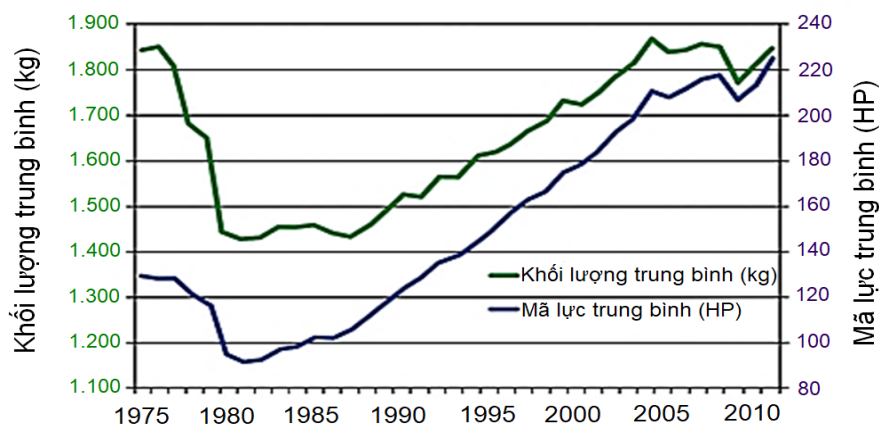
Ngày 31/03/2011 tại Southfield, Michigan, hiệp hội ô tô Mỹ đã trao bằng sáng chế sử dụng vật liệu composite đóng thùng ô tô tải cho tập thể các nhà

nghiên cứu trong tổ chức hợp tác công nghệ của tập đoàn Chrysler. Bắt đầu với việc thiết kế và phân tích bằng phần tử hữu hạn trên máy tính một mô hình thùng ô tô theo mẫu. Các thông số mô phỏng được phân tích bằng hình học và đưa đặc tính của vật liệu sợi thủy tinh dùng chế tạo composit và thiết kế thùng ô tô.

Ở Ấn Độ, hãng ô tô Tata Motors đã sản xuất một ô tô giá rẻ sử dụng vật liệu composite trên khung vỏ để thay cho thép hay nhôm truyền thống và thành công với số lượng lớn xe đã bán ra.

Theo EPA, mức tiêu thụ nhiên liệu của ô tô chịu tác động chủ yếu bởi công suất động cơ, hiệu suất động cơ, thiết kế xe và điều kiện vận hành. Trong đó, khối lượng xe là một thông số thiết kế quan trọng, cùng với công suất động cơ, ảnh hưởng trực tiếp đến tiêu hao nhiên liệu và phát thải.

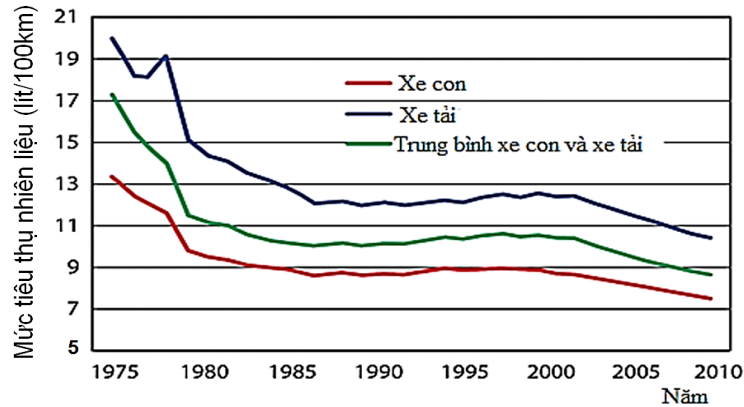
Trọng lượng trung bình của xe giảm từ những năm 1970 đến những năm 1980, sau đó tăng mạnh đến khoảng năm 2005 và dần ổn định trong các năm tiếp theo. Công suất trung bình của động cơ cũng có xu hướng tương tự, tăng gần gấp đôi kể từ đầu những năm 1980, hình 1.2.



Hình 1.2. Thay đổi khối lượng xe và công suất xe theo các năm

Nhìn chung, khi các yếu tố khác không đổi, khối lượng và công suất xe tăng sẽ làm mức tiêu thụ nhiên liệu tăng theo. Tuy nhiên, từ những năm 1980 đến giữa những năm 2000, nhờ sự phát triển của các công nghệ trên xe, mức

tiêu hao nhiên liệu không tăng tương ứng. Từ giữa những năm 2000, các hãng sản xuất tiếp tục chú trọng giảm tiêu hao nhiên liệu trong khi vẫn duy trì khối lượng và công suất xe, hình 1.3 [5].



Hình 1.3. Thay đổi về lượng nhiên liệu tiêu thụ và model xe

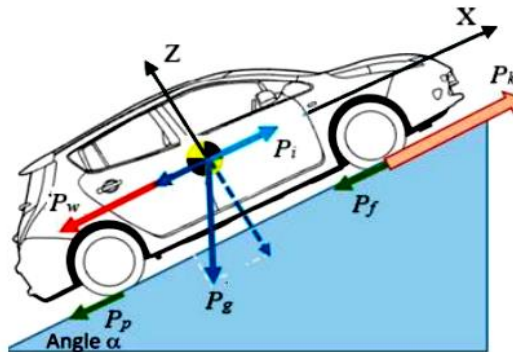
Một trong những giải pháp giảm trọng lượng ô tô bằng cách thay thế các vật liệu nhẹ hơn, nhôm, vật liệu tổng hợp tiên tiến và sử dụng thiết kế xe nhỏ hơn, động cơ nhỏ hơn nhưng không ảnh hưởng đến hiệu suất sử dụng xe [5].

1.3.2. Mối quan hệ của lực cản khi chuyển động với mức tiêu thụ nhiên liệu

Mối quan hệ giữa các lực cản khi chuyển động của ô tô và mức tiêu thụ nhiên liệu thể hiện ở phương trình (1.1).

$$q_d = \frac{0,36 g_e}{\rho_n \eta_t} \left(f G \cos \alpha \pm G \sin \alpha + W v^2 \pm \frac{G}{g} \delta_j j \right); \frac{L}{100 \text{ km}} \quad (1.1)$$

Ở đó: Lực cản không khí P_w ($P_w = W v^2$); lực cản quán tính P_j ($P_j = \frac{G}{g} \delta_j j$); lực cản lăn ($P_f = f G \cos \alpha$); lực cản lên dốc P_i ($P_i = G \sin \alpha$), hình 1.4.



Hình 1.4. Sơ đồ các lực cản trên ô tô

δ - hệ số ảnh hưởng bởi khối lượng chuyển động tịnh tiến và quay; G : khối lượng xe kg, j : gia tốc chuyển động (m/s^2), v : vận tốc xe (km/h), f : hệ số cản lăn, C : điểm trọng tâm xe [6].

Như vậy, khối lượng xe tăng làm tăng lực cản khi xe chuyển động và tăng lượng tiêu thụ nhiên liệu của ô tô. Khối lượng xe bao gồm khối lượng của bản thân xe và khối lượng hàng hóa/ hành khách trên xe.

Quan hệ của khối lượng với mức tiêu thụ nhiên liệu ô tô là hàm của nhiều yếu tố, có thể biểu diễn bằng phương trình (1.2).

$$q_d = F(M, P_c, g_e, \eta_t, D_f); \frac{L}{100 \text{ km}} \quad (1.2)$$

M là khối lượng xe gồm khối lượng bản thân xe và khối lượng hàng hóa/ hành khách; P_c : Tổng các lực cản chuyển động; g_e : Suất tiêu hao nhiên liệu có ích của động cơ; η_t : Là hiệu suất hệ thống truyền lực; D_f : Những nhân tố ảnh hưởng của điều kiện hoạt động khác.

1.4. CHỈ TIÊU ĐÁNH GIÁ TÍNH KINH TẾ NHIÊN LIỆU CỦA Ô TÔ

Mức tiêu thụ nhiên liệu là chỉ tiêu đánh giá tính kinh tế nhiên liệu của ô tô và có ý nghĩa lớn trong kinh tế xã hội nói chung và chủ sử dụng xe nói riêng. Trong trường hợp tổng quát, khi ô tô chuyển động không ổn định với vận tốc trung bình V , mức tiêu thụ nhiên liệu (q_d) của ô tô là tỷ số giữa suất tiêu hao nhiên liệu có ích g_e (kg/kWh) của động cơ và công suất cần thiết để khắc phục các lực cản chuyển động được biểu thị theo phương trình (1.3) [7].

$$q_d = \frac{0,36 g_e (P_f \pm P_r \pm P_w \pm P_j)}{\rho_n \eta_t}; \frac{L}{100 \text{ km}} \quad (1.3)$$

Suất tiêu hao nhiên liệu riêng g_e được tính ở 85% công suất cực đại của động cơ ($N_e = 85\% N_{e_{max}}$) tính bởi công thức (1.4) theo hiệu quả kinh tế vận chuyển thông qua khối lượng hàng hóa chuyên chở G_T .

$$g_e = \frac{G_T}{N_e} = \frac{Q \rho_n}{N_e t}; \frac{\text{kg}}{\text{kWh}} \quad (1.4)$$

Hoặc g_e được tính bằng công thức (1.5) theo hiệu suất của động cơ (η_e) và nhiệt trị của nhiên liệu (Q_H) [8].

$$g_e = \frac{1}{Q_H \eta_e} ; \frac{\text{kg}}{\text{j}} \quad (1.5)$$

Ở đó: Q : Lượng tiêu thụ nhiên liệu của động cơ trên một đơn vị quãng đường xe chạy (lít); Q_H : Nhiệt trị thấp của nhiên liệu (J/kg); η_e : Hiệu suất của động cơ; G_T : Khối lượng hàng hóa chuyên chở (tấn); N_e : Công suất có ích của động cơ (kW); ρ_n : Tỷ trọng của nhiên liệu (kg/L); t : Thời gian làm việc của động cơ (h).

Mức tiêu thụ nhiên liệu (q_d) phụ thuộc chủ yếu vào suất tiêu hao nhiên liệu có ích của động cơ g_e , hiệu suất hệ thống truyền lực và các lực cản chuyển động của ô tô. Tương ứng với các yếu tố này, các giải pháp giảm tiêu hao nhiên liệu cần tập trung vào nâng cao tính kinh tế nhiên liệu của xe và giảm phát thải gây hại cho môi trường.

1.5. CÁC GIẢI PHÁP CHÍNH GIẢM MỨC TIÊU THỤ NHIÊN LIỆU CỦA Ô TÔ

1.5.1. Giảm khối lượng xe

Khi giảm 10% khối lượng xe, mức tiêu thụ nhiên liệu có thể giảm khoảng 6–7%, do đó xu hướng phát triển các dòng xe nhẹ ngày càng được chú trọng và giữ vai trò quan trọng trong thiết kế ô tô [9]. Hiện nay, các vật liệu nhẹ được ứng dụng rộng rãi nhằm giảm khối lượng xe, trong đó nhựa thường dùng cho các chi tiết trang trí và hoàn thiện, còn vật liệu composite được sử dụng cho các chi tiết chịu lực như thân vỏ, khung xe và một số bộ phận của hệ thống truyền động. Với ưu điểm dễ chế tạo, tính thẩm mỹ cao, khả năng chịu va đập và chống oxy hóa tốt, composite ngày càng được sử dụng phổ biến trong chế tạo thân xe.

1.5.2. Cải thiện hình dáng khí động học xe

Hình dáng khí động học được đặc trưng bởi hệ số cản không khí của vỏ xe với công suất cản không khí được tính bởi phương trình (1.6).

$$L_D = 0,5\rho C_w A v^3; W \quad (1.6)$$

Quan hệ của lượng tiêu thụ nhiên liệu (S_G) theo đơn vị thời gian và hệ số cản khí động học biểu diễn ở phương trình (1.7).

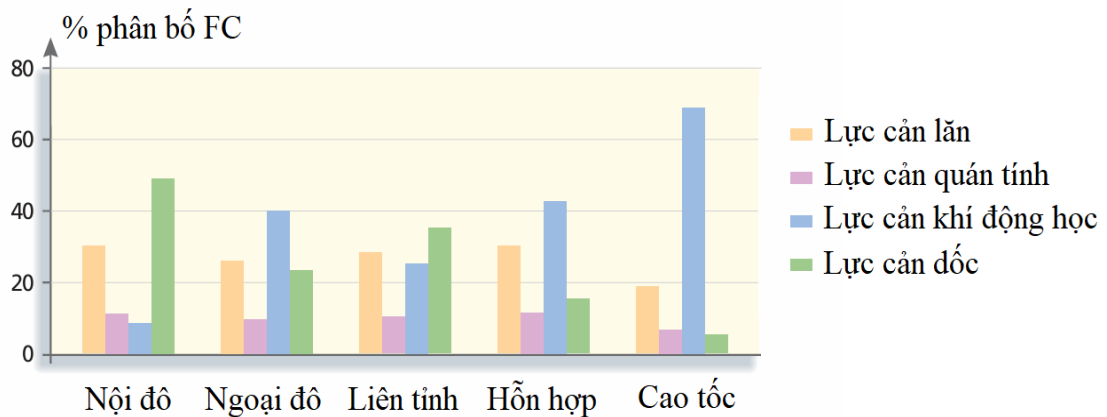
$$S_G = \frac{1}{1000} (g_e k_1 k_2) \frac{C_w A}{1.225} v^3; \frac{\text{kg}}{\text{h}} \quad (1.7)$$

S_G (kg/h): lượng tiêu thụ nhiên liệu trong 1 giờ tại mức công suất P_e (HP) của động cơ; g_e (kg/kWh): suất tiêu hao nhiên liệu ở 85% công suất cực đại; $k_1 = 1,0-1,3$: hệ số điều chỉnh suất tiêu hao nhiên liệu theo các mức công suất khác nhau; $k_2 = 1,0-1,05$: hệ số điều chỉnh lượng tiêu hao nhiên liệu theo thời gian hoạt động của động cơ [10].

1.5.3. Giảm lực cản lăn

1.5.3.1. Lực cản lăn trong chuyển động

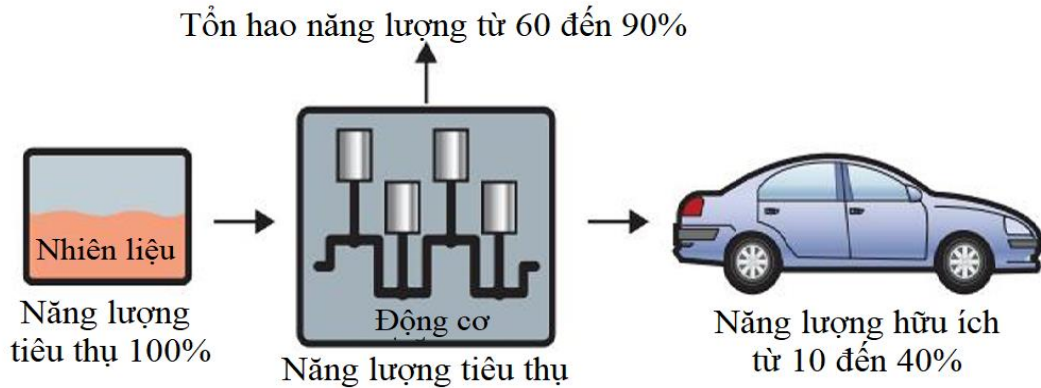
Khi đi trên đường, tỷ lệ lực cản chuyển động của xe do lực cản lăn của lốp xe liên tục thay đổi trong khoảng từ 10 đến 70%. Trung bình là khoảng 20% đối với lái xe trên đường cao tốc, 25% đối với các vòng ngoài đô thị và 30% đối với các vòng trong đô thị và lái xe trên đường lớn và đường nhỏ, hình 1.5 [11].



Hình 1.5. Tỷ lệ lực cản khi chuyển động của ô tô theo loại đường

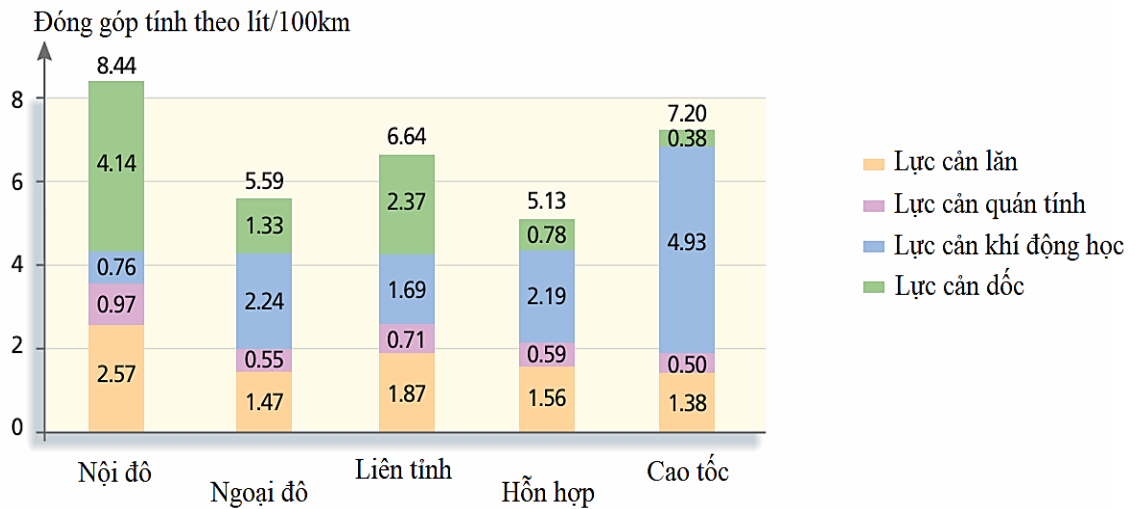
Để vượt qua lực các lực cản chuyển động, ô tô cần tiêu thụ năng lượng dưới dạng nhiên liệu, trong đó động cơ tiêu hao một lượng năng lượng lớn dưới

dạng nhiệt, hình 1.6.



Hình 1.6. Phân bố tiêu thụ năng lượng của ô tô khi chạy

Tiêu thụ nhiên liệu không chỉ phụ thuộc vào hành trình, kiểu lái xe, loại xe, đặc tính của lốp và phụ thuộc vào hiệu suất của động cơ tại bất kỳ thời điểm nào, hình 1.7. [11, tr50].



Hình 1.7. Phân bố lượng nhiên liệu theo đường giao thông

1.5.3.2. Sử dụng lốp tiết kiệm nhiên liệu

Theo Michelin (2003), lực cản lăn của lốp là yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến mức tiêu thụ nhiên liệu của xe. Kết quả thực nghiệm cho thấy khi giảm lực cản lăn từ 12 kg/t xuống 8,5 kg/t (giảm khoảng 30%), mức tiêu thụ nhiên liệu có thể giảm khoảng 0,26–0,28 lít/100 km mà không cần thay đổi tỷ số truyền. Điều này cho thấy việc cải tiến thiết kế và vật liệu lốp, đặc biệt với “lốp xanh”,

có ý nghĩa rõ rệt trong nâng cao hiệu quả sử dụng nhiên liệu, bảng 1.2.

Bảng 1.2. Tiết kiệm nhiên liệu do sử dụng lớp tiết kiệm nhiên liệu không thay đổi tỉ số truyền

Tiết kiệm nhiên liệu do sử dụng lớp tiết kiệm nhiên liệu khi không thay đổi tỉ số truyền						
Loại đường		Nội đô	Ngoại đô	Liên tỉnh	Hỗn hợp	Cao tốc
Mức tiêu thụ nhiên liệu (L/100km)	Lớp thường (12 kg/t)	8,44	5,59	6,64	5,13	7,2
	Lớp tiết kiệm nhiên liệu (8,5kg/t)	8,17	5,33	6,38	4,87	6,92
Tiết kiệm so với lớp thường	L/100km	0,27	0,26	0,26	0,26	0,28

Khi thay lớp 12 kg/t bằng lớp 8,5 kg/t (tức là giảm 30% lực cản lăn) kết hợp với tối ưu hóa hệ truyền động và tỉ số truyền thì có thể tiết kiệm nhiên liệu tăng gấp đôi, khoảng 0,4–0,6 lít/100 km, bảng 1.3, [11, tr51].

Bảng 1.3. Tiết kiệm nhiên liệu nhờ sử dụng lớp tiết kiệm nhiên liệu sau khi thay đổi tỉ số truyền

Tiết kiệm nhiên liệu nhờ sử dụng lớp tiết kiệm nhiên liệu kết hợp thay đổi tỉ số truyền						
Loại đường		Nội đô	Ngoại đô	Liên tỉnh	Hỗn hợp	Cao tốc
Mức tiêu thụ nhiên liệu (L/100km)	Lớp thường (12 kg/t)	8,44	5,59	6,64	5,13	7,2
	Lớp tiết kiệm nhiên liệu (8,5kg/t)	7,84	5,17	6,15	4,72	6,73
Tiết kiệm so với lớp thường	L/100km	0,6	0,42	0,49	0,41	0,47

1.5.4. Tối ưu thông số kỹ thuật và điều kiện vận hành

1.5.4.1. Ứng dụng công nghệ Start–Stop

Theo Huff cùng các tác giả (2023) nghiên cứu công nghệ Start–Stop là một trong những giải pháp hiệu quả nhằm giảm tiêu hao nhiên liệu trong quá trình vận hành phương tiện, đặc biệt trong điều kiện đường giao thông đông

đúc, đường đô thị. Theo các nghiên cứu thực nghiệm gần đây, việc ứng dụng công nghệ Start–Stop có thể giúp giảm khoảng 7% mức tiêu thụ nhiên liệu trong chu trình vận hành đô thị [12], đồng thời góp phần giảm phát thải khí nhà kính và nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng của phương tiện.

1.5.4.2. Tối ưu động cơ

Brayner và cộng sự (2024) đề xuất giải pháp giảm tiêu hao nhiên liệu bằng cách tối ưu hệ thống làm mát động cơ, qua đó cắt giảm đáng kể năng lượng tiêu thụ của các hệ thống phụ trợ. Kết quả thử nghiệm trên xe du lịch trong chu trình đô thị cho thấy mức tiết kiệm nhiên liệu khoảng 1,4% [13]. Tuy nhiên, hiệu quả còn hạn chế do chỉ tác động gián tiếp đến quá trình sinh công của động cơ, vì vậy cần kết hợp với các giải pháp khác như tối ưu điều khiển động cơ, cải thiện quá trình cháy và giảm khối lượng xe.

Bên cạnh đó, việc tối ưu các thông số kỹ thuật và vận hành của động cơ như tỷ số nén, thời điểm phun – đánh lửa, tỷ lệ hòa khí và pha phối khí có ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu quả cháy, giúp nâng cao hiệu suất chuyển hóa năng lượng và giảm tiêu hao nhiên liệu [14]. Tuy nhiên, mức tiêu thụ nhiên liệu không chỉ phụ thuộc vào động cơ mà còn chịu ảnh hưởng lớn từ tải chuyển động, trong đó khối lượng toàn bộ xe là yếu tố đặc biệt quan trọng do tác động trực tiếp đến lực cản lăn, lực quán tính và công suất kéo yêu cầu. Vì vậy, giảm khối lượng xe được xem là giải pháp tổng thể nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng nhiên liệu và giảm phát thải.

1.5.5. Các phương pháp đánh giá và mô phỏng mức tiêu thụ nhiên liệu ô tô

a) Thử nghiệm trên xe nguyên mẫu thực tế

Phương pháp này thực hiện bằng cách chế tạo một chiếc xe nguyên mẫu thực tế với các công nghệ tiên tiến và thử nghiệm nhiều lần trên những loại đường khác nhau, sau đó đo mức tiêu thụ nhiên liệu và rút ra một mẫu tiêu biểu.

Phương pháp này kết quả cho chính xác nhất nhưng rất tốn kém.

Theo EPA, dữ liệu thử nghiệm chứng nhận phương tiện là một nguồn đặc biệt đáng tin cậy khi một phương tiện có thể so sánh trực tiếp được cung cấp có hoặc không có công nghệ cụ thể. Việc phát triển EPA bắt đầu bằng các phương trình vật lý cơ bản xác định nhu cầu năng lượng của phương tiện trong các chu kỳ lái xe cố định, đặc biệt là chu trình đô thị và đường cao tốc của EPA [15].

b) Mô phỏng toàn hệ thống

Phương pháp mô phỏng trên máy tính xây dựng một mô hình đại diện trong đó mô tả các công nghệ để giảm mức tiêu thụ nhiên liệu gọi là mô phỏng toàn hệ thống (FSS). Đây là công nghệ tiên tiến nhất trong toàn ngành ô tô để mô hình hóa mức tiêu thụ nhiên liệu. Ưu điểm của phương pháp này tốn kém ít nhưng cần nhiều thời gian và giá thành do cần hiệu chỉnh trên nhiều mẫu xe, thường khoảng 1.000 xe khác nhau [15].

c) Mô hình xấp xỉ rời rạc từng phần

Mô hình xấp xỉ rời rạc từng phần (PDA) sử dụng dữ liệu từ các cấu hình xe cơ sở kết hợp với các công nghệ rời rạc để xây dựng thuật toán tính toán mức tiêu thụ nhiên liệu và đánh giá tác động tích lũy của từng công nghệ. Ưu điểm của phương pháp này là đơn giản, hiệu quả và cho phép tính toán cho hàng nghìn phương tiện với hàng chục nghìn tổ hợp công nghệ [15].

1.6. CÔNG TRÌNH NGHIÊN CỨU TRONG NƯỚC VÀ NGOÀI NƯỚC

1.6.1. Công trình nghiên cứu ngoài nước

Có nhiều nghiên cứu trên thế giới về mức tiêu thụ nhiên liệu trên ô tô, trong luận án tập trung vào phân tích bốn giải pháp chính trên thế giới.

1.6.1.1. Nghiên cứu của MIT đã nghiên cứu về định lượng

Các nghiên cứu định lượng cho thấy khối lượng phương tiện có ảnh hưởng

đáng kể đến mức tiêu thụ nhiên liệu.

Khi giảm khối lượng xe khoảng 10%, mức tiêu hao nhiên liệu có thể giảm trong khoảng 6–8%, tùy thuộc vào điều kiện khai thác và đặc tính kỹ thuật của xe [16], [17].

Trong phạm vi khai thác thông thường, mối quan hệ này có thể được xấp xỉ bằng hàm tuyến tính, tạo thuận lợi cho việc xây dựng các mô hình dự báo. Tuy nhiên, trong điều kiện vận hành đô thị với tần suất tăng giảm tốc cao, tác động của khối lượng trở nên rõ rệt hơn do làm gia tăng nhu cầu năng lượng quán tính và tải trọng tác dụng lên hệ truyền lực [17], [18].

Những kết quả này cung cấp cơ sở khoa học quan trọng cho việc đề xuất các giải pháp giảm khối lượng nhằm giảm tiêu thụ năng lượng và giảm phát thải trong thiết kế ô tô hiện đại.

1.6.1.2. Nghiên cứu bằng điều kiện ảnh hưởng

+ Các nhà khoa học của Nhật Bản đã phát hiện:

Tỷ lệ thay đổi giữa mức tiêu thụ nhiên liệu và khối lượng xe là 0,7:1, cho thấy khi khối lượng xe thay đổi sẽ kéo theo sự biến đổi tương ứng về mức tiêu hao nhiên liệu. Tuy nhiên, mức độ ảnh hưởng của khối lượng không cố định mà phụ thuộc vào điều kiện hoạt động của xe; trong đó, tác động là mạnh nhất khi xe vận hành trong điều kiện đường đô thị với nhiều chu kỳ tăng tốc và giảm tốc, và yếu nhất khi xe chạy ổn định trên đường cao tốc.

+ Nghiên cứu của Volkswagen (2015), tập đoàn ô tô Đức đã nghiên cứu về:

Sử dụng vật liệu composite và hợp kim nhẹ đã tối ưu hóa cấu trúc khung gầm và kết quả đạt được: giảm 15% khối lượng, giảm 10–12% nhiên liệu.

+ Ford Motor (2018) đã nghiên cứu về:

Thép cường độ cao và ứng dụng nhôm trong sản xuất thân vỏ kết quả giảm được 20% khối lượng xe F-150, tiết kiệm 15% nhiên liệu.

1.6.1.3. Nghiên cứu tác động đến môi trường

+ Nghiên cứu của Ủy ban Châu Âu (2019) về tác động môi trường đã chỉ ra: Giảm khối lượng ô tô mang lại hiệu quả rõ rệt trong việc giảm phát thải, với mỗi 100 kg khối lượng giảm có thể cắt giảm khoảng 8,5 g CO₂/km. Điều này góp phần quan trọng vào việc đáp ứng các tiêu chuẩn môi trường nghiêm ngặt của EU, đồng thời nâng cao hiệu quả sử dụng nhiên liệu của phương tiện.

+ Nghiên cứu của EPA năm 2020 đã nghiên cứu về tác động môi trường cho thấy: Nghiên cứu tập trung làm rõ mối quan hệ giữa khối lượng xe và lượng phát thải khí nhà kính, đồng thời phân tích tác động của việc giảm khối lượng xe đến mức độ an toàn trong vận hành. Trên cơ sở đó, đề xuất các tiêu chuẩn và định hướng kiểm soát khối lượng xe nhằm đảm bảo hài hòa giữa mục tiêu giảm phát thải và yêu cầu an toàn kỹ thuật của phương tiện.

1.6.1.4. Nghiên cứu về sử dụng vật liệu mới

Nghiên cứu hướng tới phát triển các loại vật liệu composite có tính năng cao, kết hợp ứng dụng công nghệ nano trong chế tạo và cải tiến phụ tùng nhằm nâng cao đặc tính cơ học và giảm khối lượng. Bên cạnh đó, việc khai thác và sử dụng vật liệu tái chế được xem là một hướng tiếp cận quan trọng, góp phần nâng cao tính bền vững trong thiết kế và sản xuất, đồng thời giảm thiểu tác động đến môi trường.

1.6.1.5. Những nghiên cứu nổi bật khác trên thế giới

a) Xu hướng tối ưu hóa thiết kế

Nghiên cứu tập trung vào việc ứng dụng công nghệ in 3D trong sản xuất nhằm nâng cao tính linh hoạt và khả năng chế tạo chi tiết phức tạp, đồng thời phát triển các cấu trúc sandwich nhẹ để giảm khối lượng nhưng vẫn đảm bảo độ cứng vững. Bên cạnh đó, phương pháp tối ưu hóa topology được sử dụng để thiết kế và cải tiến hình dạng chi tiết theo hướng phân bố vật liệu hiệu quả.

b) Nghiên cứu tích hợp

Nghiên cứu hướng tới việc kết hợp giữa giảm khối lượng xe và cải thiện đặc tính khí động học. Đồng thời, xem xét tích hợp với công nghệ xe điện để nâng cao hiệu quả năng lượng và giảm phát thải. Trên cơ sở đó, đề xuất các giải pháp tổng thể mang tính hệ thống, đảm bảo sự đồng bộ giữa thiết kế, công nghệ và mục tiêu phát triển bền vững.

c) Cơ hội nghiên cứu

Trên thế giới, những nghiên cứu cho thấy có rất nhiều cơ hội trong tương lai và những thách thức cho lĩnh vực này, có thể tóm tắt như sau:

+ Về phương pháp nghiên cứu.

Do đặc tính phụ thuộc mạnh vào điều kiện vận hành, việc xây dựng các mô hình dự đoán chính xác mức tiêu thụ nhiên liệu trong các chế độ hoạt động khác nhau là hết sức cần thiết. Đồng thời, cần tiến hành các nghiên cứu làm rõ sự tương tác giữa khối lượng xe và các yếu tố khác như vận tốc, tải trọng, điều kiện đường và hành vi người lái nhằm đánh giá đầy đủ ảnh hưởng tổng hợp đến tiêu thụ nhiên liệu. Trên cơ sở đó, việc phát triển các phương pháp đánh giá toàn diện về lợi ích của việc thay đổi khối lượng theo tiêu chí tiết kiệm nhiên liệu là yêu cầu quan trọng, góp phần định hướng các giải pháp thiết kế và tối ưu hóa phương tiện trong thực tế.

+ Về ứng dụng thực tế.

Cần tập trung nghiên cứu khả năng triển khai các giải pháp giảm khối lượng trong điều kiện khai thác cụ thể của phương tiện. Đồng thời, việc đánh giá tính khả thi kinh tế của các giải pháp này là cần thiết nhằm đảm bảo hiệu quả giữa chi phí đầu tư và lợi ích tiết kiệm nhiên liệu đạt được. Bên cạnh đó, cần xem xét các tác động dài hạn của việc giảm khối lượng đến độ bền, an toàn và hiệu suất vận hành của xe, từ đó làm cơ sở cho việc lựa chọn và áp dụng các

giải pháp phù hợp trong thực tiễn.

Sử dụng xe tiết kiệm nhiên liệu đang ngày càng trở nên quan trọng đối với giao thông hiện nay. Nó không những liên quan đến chi phí nhiên liệu hàng ngày mà còn tác động đáng kể đến môi trường. Dữ liệu do EPA thu thập cho thấy trong năm 1990–2012, khoảng 32% lượng khí thải CO₂ và 27% lượng khí thải nhà kính ở Mỹ đến từ ngành giao thông [19], trong đó 60% là từ ô tô con và xe tải nhỏ [20].

Trong các thử nghiệm lái xe, cho thấy kết quả: có thể giảm 5–25% mức tiêu thụ nhiên liệu; sẽ giảm trung bình là 4% lượng khí thải NO_x [21].

Nhóm tác giả Matthew Barth 2011 nghiên cứu đưa ra việc giảm thiểu mức tiêu thụ nhiên liệu của phương tiện bằng cách cải thiện quá trình tăng giảm tốc của xe khi vượt đèn giao thông. Phương pháp này xác định cấu hình tăng tốc và giảm tốc tốt nhất để vượt qua đèn giao thông với yêu cầu mô-men xoắn động cơ tối thiểu và thời gian chạy không tải là ít nhất [22].

Tương tự, nhóm tác giả Engin Ozatay 2013 đưa ra giải pháp phân tích sử dụng mô hình tuyến tính hóa theo chiều dọc xe và giải pháp số cho mục đích so sánh mức tiêu thụ nhiên liệu đối với một số xe cùng loại. Các tác giả kết luận rằng phương pháp phân tích này có độ chính xác cao nhưng với phức tạp tính hơn nhiều [23].

Một nghiên cứu khác đã phân tích để lựa chọn vật liệu nhôm làm thân vỏ xe để giảm trọng lượng được thực hiện trong phần mềm Hypermesh và sử dụng kỹ thuật Rapid Prototyping để thay thế sản xuất mẫu thật. Kết quả thực hiện và trọng lượng xe giảm 5%, độ bền (ứng suất) tăng lên đến 15% [24].

Khi tính toán các lực tác động lên xe với độ chính xác hợp lý nhằm giảm các lực cản chuyển động đã hỗ trợ thiết kế hệ thống treo, lái và phanh, nhóm nghiên cứu đã sử dụng công cụ GUI trong Simmechanics mô phỏng xe 3D trong môi trường MATLAB / Simulink [25].

Trong những năm gần đây, các phần mềm dựa trên các phương pháp CFD được sử dụng nhiều để nghiên cứu thiết kế xe [26].

Giảm khối lượng xe có thể thực hiện bằng cách giảm độ dày chi tiết, thay thế vật liệu bằng loại có khối lượng riêng thấp hơn và gia cường cục bộ bằng xương tăng cứng tại các vị trí chịu tải. Một giải pháp khác là bổ sung kết cấu polyme tại các vùng cục bộ của thân xe như cột B và sàn xe. Trong quá trình nung sơn, bột epoxy giãn nở sẽ phản ứng nhiệt, đóng rắn và liên kết với vật liệu thân vỏ, góp phần tăng độ cứng kết cấu mà vẫn giảm khối lượng xe [27].

Tiến bộ trong nghiên cứu vật liệu là động lực quan trọng thúc đẩy đổi mới công nghệ, đặc biệt trong lĩnh vực ô tô. Các vật liệu mới và quy trình sản xuất tiên tiến hướng tới độ bền, tính kinh tế, an toàn và độ tin cậy cao. Trong những thập kỷ tới, nghiên cứu vật liệu cho ô tô sẽ tiếp tục tập trung vào mục tiêu giảm khối lượng xe, giảm phát thải CO₂, nâng cao hiệu quả năng lượng và độ tin cậy hệ thống, đồng thời ưu tiên các vật liệu có hiệu quả chi phí và tiềm năng ứng dụng kinh tế trong tương lai [28].

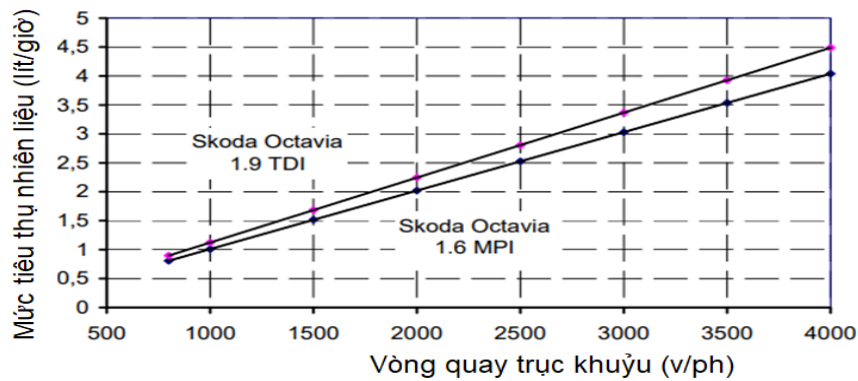
Nhóm tác giả S. I. Krivoshapov (Ukraine) đã xây dựng mô hình toán để tính mức tiêu thụ nhiên liệu theo giờ của động cơ đốt trong ở chế độ không tải và tải không đổi, áp dụng cho hai động cơ: Skoda Octavia 1.6 MPI và Skoda Octavia 2.0 TDI. Trong nghiên cứu, các hệ số điền đầy xi lanh và hệ số dư lượng không khí được xấp xỉ bằng đa thức bậc hai, đồng thời sử dụng phương trình (1.8) để xác định lượng tiêu thụ nhiên liệu theo giờ G_t của động cơ.

$$G_t = \frac{0,12PV_h n}{L_0 RT \tau \rho_t} \cdot \frac{B_\eta + \frac{10^2 A_\eta N_e}{N_{emax}}}{C_\alpha + \frac{10^2 B_\alpha N_e}{N_{emax}} + \frac{10^4 A_\alpha N_e^2}{N_{emax}}}; \quad \frac{\text{kg}}{\text{h}} \quad (1.8)$$

Ở đó, một số thông số nhận được từ quá trình nhóm tác giả làm thí nghiệm. P : áp suất trung bình khí nén trong buồng đốt ($P = P_e / \eta_m$ (kN)); V_h : thể tích buồng đốt (lít); n : số vòng quay của động cơ; L_0 : nhiệt lượng nhiên liệu (động cơ xăng $L_0 = 0,5100$ kmol/kg, động cơ diesel có $L_0 = 0,495$ kmol/kg); $R = 8,31$

$J / (\text{mol}\cdot\text{K})$ và $\tau = 4$: các hằng số; ρ_t : tỷ trọng của nhiên liệu, động cơ xăng $\rho_t = 0,76 \text{ g/cm}^3$, động cơ diesel $\rho_t = 0,84 \text{ g/cm}^3$; N_e : công suất của động cơ tại số vòng quay n_e , $N_{e \max}$: công suất của động cơ tại số vòng quay $n_{e \max}$; $A_\alpha, B_\alpha, C_\alpha, A_\eta, B_\eta$ là các hệ số thực nghiệm, động cơ xăng $A_\alpha = -1,0 \cdot 10^4$; $A_\eta = 7,0 \cdot 10^3$; $B_\alpha = 0,012$; $B_\eta = 0,17$; $C_\alpha = 0,85$ và động cơ diesel $A_\alpha = 3,0 \cdot 10^4$; $A_\eta = 9,0 \cdot 10^4$; $B_\alpha = -0,06$; $B_\eta = 1,0$; $C_\alpha = 5,0$.

Nhận được kết quả khi động cơ chạy không tải thì mức tiêu thụ nhiên liệu mỗi giờ tăng tỷ lệ thuận với tốc độ quay và dung tích của động cơ. Đã xây dựng đồ thị sự thay đổi mức tiêu thụ nhiên liệu theo tốc độ vòng quay của hai động cơ Skoda Octavia chạy xăng và diesel, hình 1.8, [29].



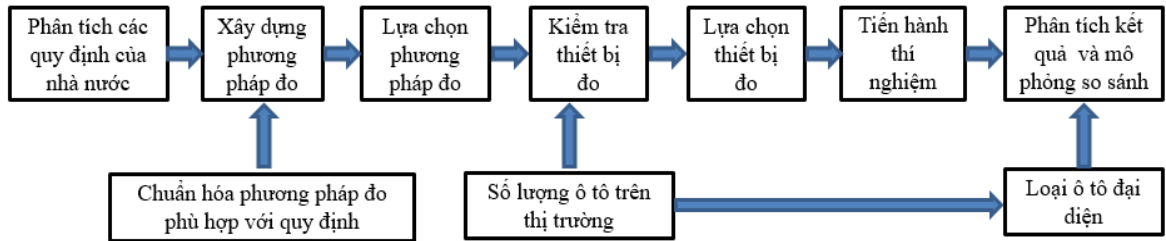
Hình 1.8. Đồ thị thay đổi mức tiêu thụ nhiên liệu theo tốc độ quay động cơ

Bằng việc minh họa trên ô tô tải KrAZ-6322 đã đề xuất sử dụng các phương pháp để xác định mức tiêu thụ nhiên liệu trong vận tải đường bộ. Trên đồ thị cho thấy khi tốc độ động cơ tăng thì mức tiêu hao nhiên liệu cũng tăng theo tỷ lệ. Bằng phương pháp mô hình hóa các quá trình hoạt động của hệ thống, có tính đến các đặc điểm thiết kế và điều kiện hoạt động, có thể tính toán các giá trị tiêu chuẩn về mức tiêu thụ nhiên liệu của một chiếc ô tô cụ thể theo các đặc tính kỹ thuật và hoạt động của nó [29].

Công trình nghiên cứu của Juan Camilo Lopez (Colombia) và các tác giả công bố năm 2020 đã sử dụng biện pháp đo tiêu thụ nhiên liệu cho một số xe tải hạng nhẹ (Light duty vehicle – LDV) ở Colombia bằng phương pháp khối

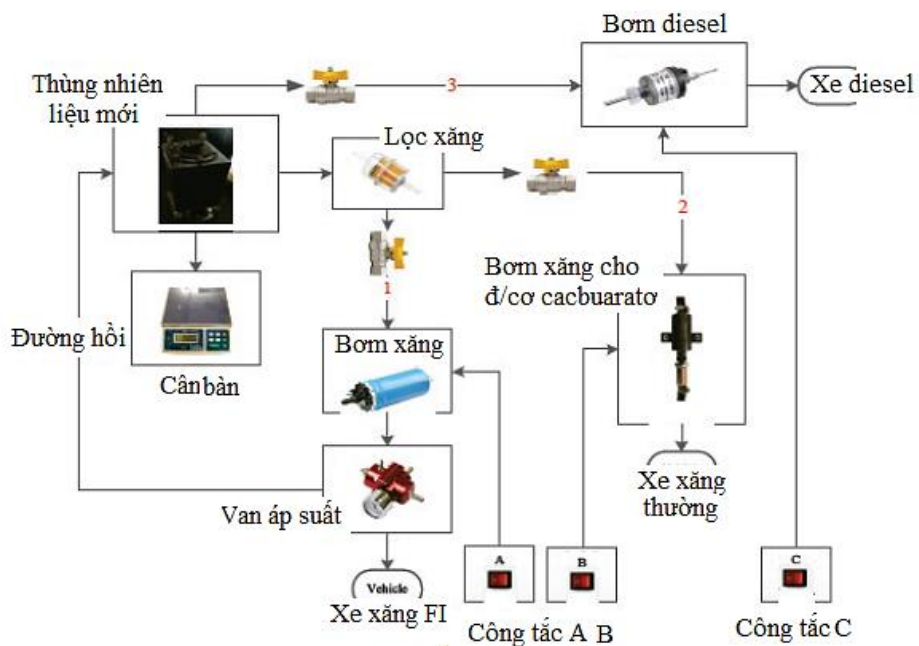
lượng (sử dụng cân). Những biến khác nhau của dụng cụ, thiết bị và điều kiện môi trường đều gây ảnh hưởng đến quá trình đo đã được phân tích.

Kết quả nhận được các dữ liệu chung cho việc đánh giá mức tiêu thụ nhiên liệu các xe tải nhẹ. Sơ đồ quá trình thí nghiệm nêu trên hình 1.9.



Hình 1.9. Sơ đồ thí nghiệm đo tiêu thụ nhiên liệu xe tải nhẹ ở Colombia

Thí nghiệm sử dụng một thùng nhiên liệu khác nối với đường cấp nhiên liệu của xe bằng khớp nối nhanh theo hình 1.10. Trên sơ đồ, tác giả dùng 3 công tắc A, B, C cho thí nghiệm ba loại xe, xe phun xăng điện tử, xe xăng cacbuarato và xe chạy diesel. Thùng nhiên liệu mới được đặt trên cân để đo khối lượng nhiên liệu trước và sau khi cho xe chạy theo chu trình lái xe, khối lượng tiêu thụ trong quá trình thử nghiệm là trọng lượng chênh lệch trên cân. Chu trình lái xe thực tế cũng là chu trình FTP75 trong mô phỏng.



Hình 1.10. Sơ đồ lắp ráp thiết bị thí nghiệm

Mức tiêu thụ nhiên liệu (km/kg) có thể được sử dụng phổ biến bằng phương trình của tỷ số giữa km chạy được và số kg nhiên liệu đã tiêu thụ. Đây là giá trị để thiết lập và đánh giá hiệu quả của các chiến lược tiết kiệm năng lượng áp dụng cho đa số các loại xe hạng nhẹ.

Khi phân tích hệ số hiệu chỉnh C_p cho kết quả thấp hơn 0,02% nên đã chứng minh rằng mật độ không khí không ảnh hưởng đến quá trình đo mức tiêu thụ nhiên liệu. Kết quả đo cụ thể mức tiêu thụ nhiên liệu của một chiếc xe từ thương hiệu đại diện của thị trường ô tô Colombia có thể được báo cáo cho các LDV ở Colombia là $10,8840 \pm 0,1608$ km/L.

Đây là phương pháp đã được áp dụng rộng rãi trong các nghiên cứu quốc tế được các tác giả kết luận và đã được ứng dụng cụ thể tại Colombia, tạo ra bước phát triển đầu tiên về chiến lược tiết kiệm nhiên liệu cho quốc gia này. Phương pháp đo mức tiêu thụ nhiên liệu cho LDV được phát triển dựa trên luật quản lý Liên bang Hoa Kỳ (Code of Federal Regulation – CFR 40) của Hoa Kỳ theo phương pháp đo trọng lượng.

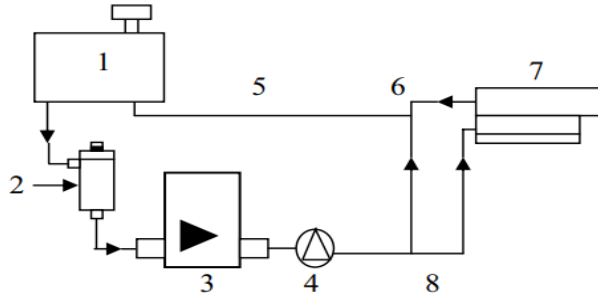
Đo lường để đánh giá các chiến lược sử dụng năng lượng hiệu quả và xác định các nguyên nhân chính gây ra sự tổn thất nhiên liệu. Đo lường đáng tin cậy nên có thể sử dụng kết quả để đóng góp cho các quy định. Đề xuất của nhóm tác giả nên bắt đầu bằng việc thiết lập mức tiêu thụ nhiên liệu cơ bản của ô tô ở cấp quốc gia để đạt được mức giảm tiêu thụ nhiên liệu LDV và phát thải khí nhà kính cho Colombia [30].

Công trình công bố của nhóm tác giả Walid. M. Al-Momani, Omar. O. Badran, (Jordan) công bố năm 2007 trên Tạp chí Cơ khí và kỹ thuật vật liệu IJMME đã làm thí nghiệm xác định những yếu tố ảnh hưởng đến mức tiêu thụ nhiên liệu trên ô tô gồm: vận tốc xe, khối lượng hành khách trên xe, ảnh hưởng của áp suất hơi lốp và ảnh hưởng của việc xử dụng điều hòa không khí trên xe.

Nghiên cứu tiến hành thử nghiệm trên bốn xe với các kích cỡ động cơ

khác nhau: LADA 1,3 L (1980); LADA 1,6 L (1994); VW (Golf) 1,3 L (1993) và Subaru 1,6 L (1993).

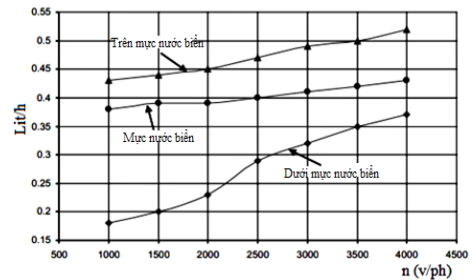
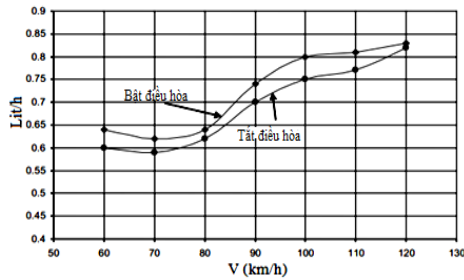
Điều kiện thử nghiệm chung gồm tốc độ xe, áp suất lốp, loại nhiên liệu, điều kiện khí quyển và các điều kiện bảo trì và quãng đường thử nghiệm là 5 km. Các thiết bị và dụng cụ thí nghiệm được kết nối theo sơ đồ hình 1.11.



Hình 1.11. Sơ đồ kết nối các thiết bị thí nghiệm

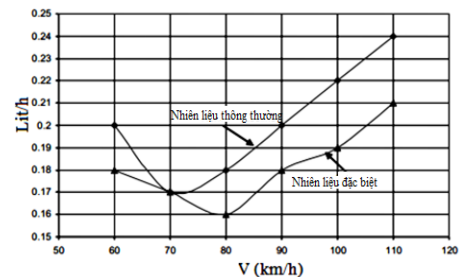
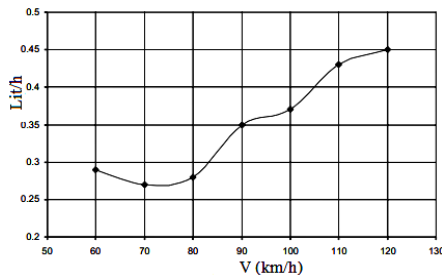
1: Thùng nhiên liệu; 2: Bộ lọc; 3: Senso đo lưu lượng dòng nhiên liệu; 4: Bơm nhiên liệu; 5: Đường hồi; 6: Van ba ngã; 7: Bộ trung chuyển; 8: Đường ống dẫn

Các kết quả thí nghiệm trên hình 1.12: a, b, c, d, e



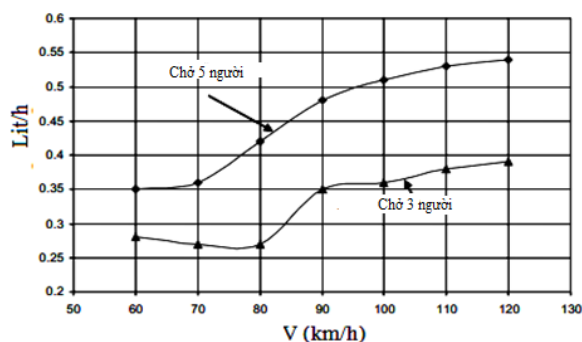
a) Ảnh hưởng của việc sử dụng điều hoà đến tiêu thụ nhiên liệu

b) Ảnh hưởng của khí quyển đến tiêu thụ nhiên liệu



c) Ảnh hưởng của vận tốc xe đến tiêu thụ nhiên liệu

d) Ảnh hưởng của loại nhiên liệu đến tiêu thụ nhiên liệu



e) Ảnh hưởng của số người ngồi đến tiêu thụ nhiên liệu

Hình 1.12. Đồ thị kết quả thí nghiệm mức tiêu hao nhiên liệu

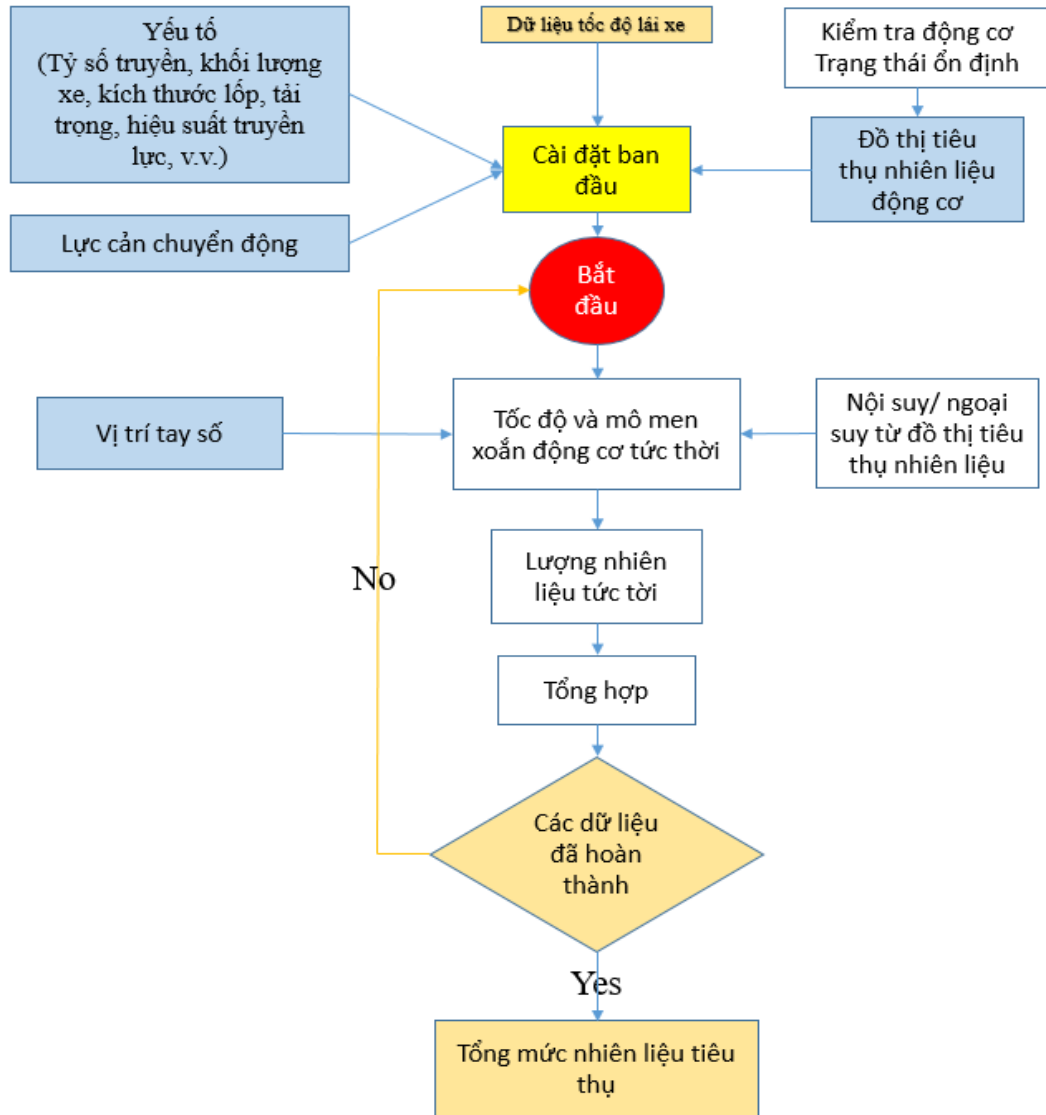
Nghiên cứu này đã chứng minh rằng tốc độ kinh tế tốt nhất cho các phương tiện là khoảng 70–80 km/h và có khác với công bố của nhà sản xuất. Điều này là do sự thay đổi của điều kiện khí quyển, tuổi của động cơ và loại đường trên thực tế. Các thử nghiệm độ cao so với mực nước biển cho thấy mức tiêu thụ nhiên liệu phụ thuộc vào độ cao, khi độ cao tăng lên, công suất của xe sẽ giảm và sự biến động của áp suất khí quyển sẽ làm mất ổn định quá trình cháy, làm tăng mức tiêu hao nhiên liệu ô tô [31].

Theo VTT báo cáo kết quả thử nghiệm trên bộ thử AVL (Chassis dynamometer) với độ chính xác $\pm 1\%$ (g/kWh) và lượng khí thải $\pm 15\%$ (g/km) cho thấy mức tiêu thụ nhiên liệu (L/100 km) tăng khi khối lượng xe (tải trọng) tăng lên. VTT nêu ra tỷ lệ % ảnh hưởng của yếu tố kỹ thuật đến mức tiêu thụ nhiên liệu trên xe: Trọng lượng và tính khí động học của xe: lên tới 30%; lái xe: 5–15%; lốp xe: 5–15%; bổ sung làm lệch hướng gió: 4–8%; chất bôi trơn: 1–2%; sự khác biệt giữa các hãng xe khác nhau: 5–15%.

Sơ đồ nghiên cứu thực nghiệm của VTT trên bộ thử AVL theo phương pháp và các bước tính toán của mô hình tiêu thụ nhiên liệu Nhật Bản nêu trên hình 1.13.

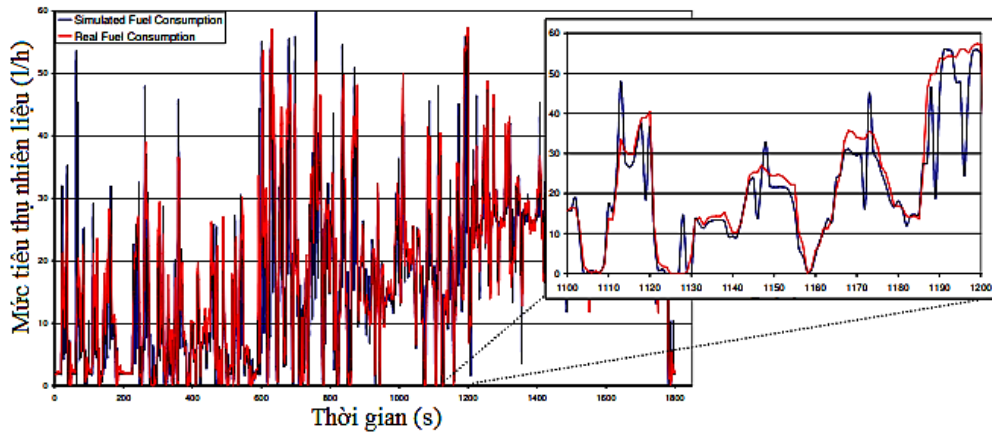
Có ba bộ tham số đầu vào cho cài đặt ban đầu của chương trình. Chu trình lái xe được xác định trước ở dạng mô-đun trong chương trình:

- Các loại xe khác nhau được phân nhóm theo khối lượng (GVW);
- Tải trọng, diện tích cản chính diện, số hành khách và tỷ số truyền hộp số, tình trạng mặt đường được lựa chọn theo loại xe và được cố định;
- Các thông số của động cơ, tốc độ không tải, mô-men xoắn cực đại và mô-men xoắn ma sát có thể thay đổi để phù hợp với nhà sản xuất.



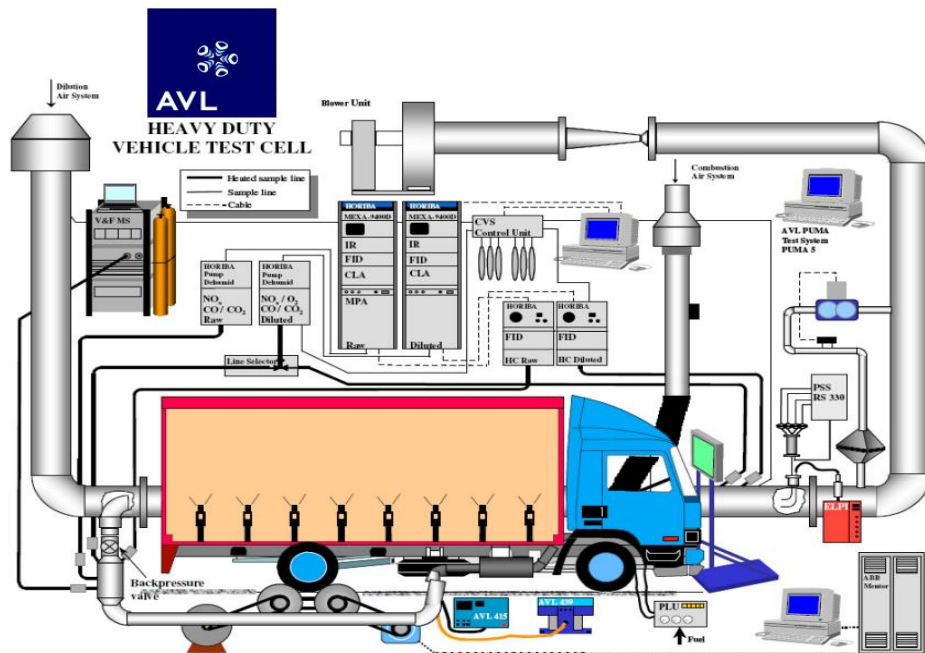
Hình 1.13. Sơ đồ thí nghiệm mức tiêu thụ nhiên liệu động cơ trên bộ thử AVL

Kết luận rằng, giá trị FC mô phỏng gần với giá trị FC thí nghiệm, lệch nhau khoảng một mililít/giây. Giá trị mô phỏng sẽ thấp hơn giá trị đỉnh. Hình 1.14 cho thấy FC theo đơn vị lít/giờ [32].



Hình 1.14. Đồ thị kết quả thí nghiệm

Bộ thử AVL để đo lực khung gầm kiểu máy đo lực kế có giá đỡ với đường kính con lăn 515 mm. Tải trọng trục tối đa cho phép là 13.000 kg. Quán tính của xe được tăng tải từ 2.500 kg đến 20.354 kg bằng bánh đà. Tốc độ tối đa là 120 km/h khi không có bánh đà và 100 km/h khi có bánh đà. Có hai động cơ DC, mỗi động cơ công suất 200 kW với hệ thống điều khiển riêng biệt bằng máy tính AVL PUMA để điều khiển quá trình tạo tải thông qua quy trình giảm tốc của hai động cơ lặp đi lặp lại với xe thử nghiệm. Hệ thống đo và thu thập tất cả dữ liệu phát ra từ xe bao gồm cả hệ thống đo khí thải, hình 1.15 [32].



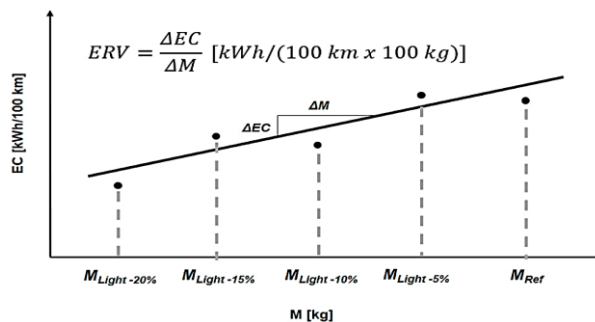
Hình 1.15. Sơ đồ bộ thử thí nghiệm mức tiêu thụ nhiên liệu xe tải của AVL

Phương pháp gần đúng đánh giá tác động của khối lượng xe đến việc giảm mức tiêu thụ nhiên liệu bằng quy trình tính toán phân tích ước tính mức tiêu thụ năng lượng của xe điện (EC) được thể hiện qua “hệ số giá trị giảm năng lượng (ERV)” với mỗi mức giảm 100 kg khối lượng. ERV được đánh giá cho một số nghiên cứu các mẫu xe điện thực tế trên thị trường Châu Âu năm 2019 và theo ba chu kỳ lái xe với hành vi lái xe thay đổi khác nhau. Nhận thấy kết quả ERV dao động từ 0,47 đến 1,17 kWh/(100 km × 100 kg), với sự thay đổi chủ yếu tùy thuộc vào kích cỡ xe và chu trình lái xe.

Để tăng độ chính xác của kết quả về mức tiêu thụ liên quan đến khối lượng cho nhiều loại ô tô có kích thước khác nhau người ta sử dụng “Giá trị tác động (IRV)” với mức giảm khối lượng xe tương ứng là 5%, 10%, 15% và 20% so với khối lượng tham chiếu. Kết quả cho mức tiêu thụ do khối lượng gây ra được xác định là độ dốc của đường hồi quy, hình 1.16. ERV tính theo phương trình (1.9).

$$ERV = \frac{\Delta EC}{\Delta M}; \frac{\text{kWh}}{100 \text{ km} \times 100 \text{ kg}} \quad (1.9)$$

Trong đó ERV = Giá trị giảm năng lượng (kWh/(100 km × 100 kg)); ΔEC = mức giảm tiêu thụ năng lượng đạt được thông qua việc giảm khối lượng xe (kWh/100 km); và ΔM = 100 kg mức giảm khối lượng xe [33].



Hình 1.16. Kết quả thu được quan hệ khối lượng xe đến mức tiêu thụ kWh

Theo Koffler C., Rodhe-Branderburger K., (2010) cho thấy thiết kế nhẹ là phương pháp phổ biến để giảm mức tiêu thụ nhiên liệu của xe du lịch. Tính toán mức tiết kiệm nhiên liệu của xe dựa trên việc tính toán tổng năng lượng

cần cho quá trình chuyển động của phương tiện với một trọng lượng xác định trên một quãng đường cho trước theo một chu trình lái xe được tiêu chuẩn hóa và thu được lượng giảm nhiên liệu (FRV) và tính năng vận hành của xe không thay đổi. Những chu trình đó là: NEDC, FTP75...

Kết quả nghiên cứu cho thấy mức tiêu thụ nhiên liệu có liên quan đến các bộ phận hoặc cụm ô tô là 0,12 l/(100 km x 100 kg) và 0,28 l/(100 km x 100 kg) đối với xe chạy dầu diesel và 0,15 l/(100 km x 100 kg) và 0,35 l/(100 km x 100 kg) đối với xe chạy xăng [34].

Kết quả mô phỏng mối quan hệ giữa khối lượng xe và mức tiêu thụ nhiên liệu cho thấy sự khác biệt rõ rệt giữa mô hình tuyến tính và phi tuyến. Trong khoảng khối lượng thấp, hai mô hình cho kết quả tương đối gần nhau, cho phép xấp xỉ mối quan hệ giữa tiêu thụ nhiên liệu FC và khối lượng m bằng hàm tuyến tính. Tuy nhiên, khi khối lượng xe tăng, đường đặc tính phi tuyến có xu hướng cong lên và tăng nhanh hơn so với đường tuyến tính, phản ánh sự gia tăng tiêu thụ nhiên liệu do ảnh hưởng của các yếu tố động lực học. Nguyên nhân của hiện tượng này là do năng lượng cần thiết cho quá trình tăng tốc tỷ lệ với khối lượng và phụ thuộc vào bình phương vận tốc, đồng thời lực cản lăn cũng tăng theo tải trọng tác dụng lên bánh xe. Các nghiên cứu trước đây đã chỉ ra rằng mối quan hệ giữa khối lượng và tiêu thụ nhiên liệu chỉ mang tính gần tuyến tính trong phạm vi hẹp, trong khi về bản chất là phi tuyến khi xét trong điều kiện vận hành thực tế [35], [36]. Do đó, việc sử dụng các mô hình phi tuyến hoặc mô hình dựa trên dữ liệu thực tế là cần thiết để đánh giá chính xác hơn ảnh hưởng của khối lượng đến mức tiêu thụ nhiên liệu của ô tô.

Nghiên cứu tổng quan gần đây cho thấy giảm khối lượng ô tô là một hướng tiếp cận trọng tâm nhằm giảm tiêu thụ năng lượng và phát thải CO₂. Việc giảm khối lượng không chỉ làm giảm năng lượng kéo cần thiết cho chuyển động mà còn tạo điều kiện tối ưu hóa hệ truyền động, giảm tổn thất phụ và nâng cao hiệu

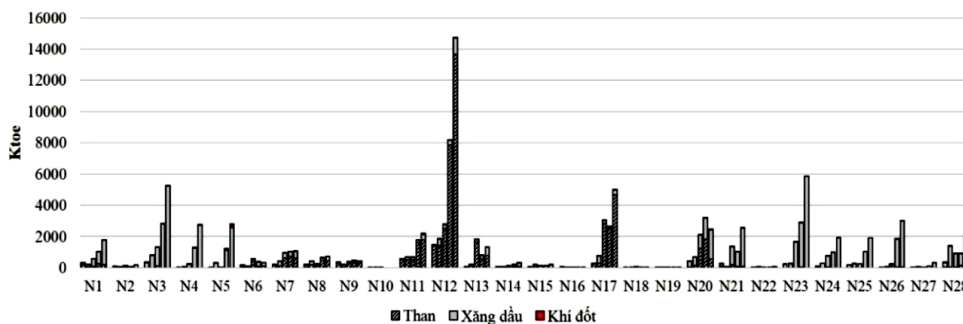
suất tổng thể của phương tiện. Đặc biệt, việc sử dụng các vật liệu nhẹ tiên tiến như composite sợi carbon cho phép giảm đáng kể khối lượng kết cấu trong khi vẫn đảm bảo độ bền cơ học. Bên cạnh đó, nghiên cứu cũng nhấn mạnh vai trò của các công nghệ thiết kế, chế tạo đa vật liệu và các giải pháp tích hợp trong việc nâng cao hiệu quả sử dụng nhiên liệu và giảm phát thải trong điều kiện vận hành thực tế [37].

Kết quả nghiên cứu trong [38] cho thấy khi khối lượng xe tăng khoảng 15% thì mức tiêu thụ năng lượng có thể tăng từ 4–9%, đồng thời mức độ ảnh hưởng thay đổi đáng kể theo điều kiện vận hành, phản ánh rõ tính chất phi tuyến của mối quan hệ giữa khối lượng và tiêu thụ năng lượng.

1.6.2. Tình hình nghiên cứu trong nước

Trong nước, một số nghiên cứu đã tập trung phân tích xu hướng tiêu thụ năng lượng trong lĩnh vực vận tải. Công trình nghiên cứu “Xu hướng thay đổi tiêu thụ năng lượng đối với các ngành dịch vụ vận tải” của tác giả Phạm Thị Huệ, Nguyễn Thị Ánh Tuyết (2021) cho thấy mức tiêu thụ năng lượng có sự khác biệt giữa các loại hình vận tải, trong đó các phương thức vận tải có quy mô và tải trọng lớn thường có mức tiêu thụ năng lượng cao hơn [39].

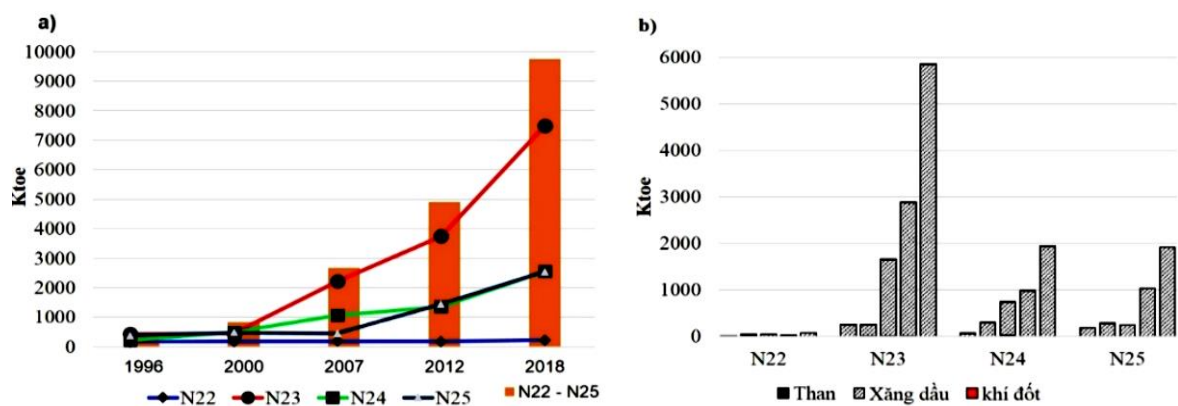
Tuy nhiên, các nghiên cứu này chủ yếu dừng ở mức đánh giá tổng thể theo loại hình vận tải, chưa đi sâu phân tích định lượng ảnh hưởng của các yếu tố kỹ thuật riêng lẻ như khối lượng phương tiện, hình 1.17.



Hình 1.17. Tiêu thụ năng lượng của 28 ngành kinh tế tại Việt Nam năm 1996, 2000, 2007, 2012 và 2018

N1: Nông nghiệp và dịch vụ; N2: Lâm nghiệp và dịch vụ; N3: Đánh bắt và nuôi trồng thủy sản; N4: Than; N5: Dầu thô và khí đốt tự nhiên hoặc LPG; N6: Khai khoáng; N7: Chế biến thực phẩm; N8: Sản xuất thời trang; N9: Sản xuất giấy và dịch vụ; N10: Xăng dầu; N11: Hóa chất cơ bản; N12: Vật liệu xây dựng; N13: Sản xuất kim loại; N14: Sản xuất điện tử, điện và thiết bị khác; N15: Sản xuất phương tiện vận tải; N16: Thiết bị y tế; N17: Sản xuất và phân phối điện; N18: Khí đốt; N19: Nước; N20: Xây dựng; N21: Kinh doanh, dịch vụ sửa chữa ô tô, mô tô, xe gắn máy; N22: Dịch vụ vận tải đường sắt; N23: Dịch vụ vận tải đường bộ; N24: Dịch vụ vận tải đường thủy; N25: Dịch vụ vận tải hàng không; N26: Dịch vụ viễn thông và du lịch; N27: Dịch vụ bảo hiểm; N28: Dịch vụ khác

Hình 1.18 a, b cho thấy mức tiêu thụ năng lượng trong lĩnh vực vận tải tại Việt Nam có xu hướng tăng mạnh trong giai đoạn 1996–2018, cụ thể, từ khoảng 488,8 nghìn tấn năm 1996 lên 4.883,3 nghìn tấn vào năm 2018. Tổng nhu cầu năng lượng của toàn ngành tăng đáng kể qua các năm, trong đó vận tải đường bộ chiếm tỷ trọng lớn nhất so với các loại hình vận tải khác. Đồng thời, cơ cấu năng lượng tiêu thụ cho thấy xăng dầu là nguồn năng lượng chủ yếu, chiếm 99% trong tổng mức tiêu thụ của ngành vận tải [39].



Hình 1.18. Tiêu thụ năng lượng của các ngành dịch vụ vận tải (1996–2018)
 N22: Dịch vụ vận tải đường sắt; N23: Dịch vụ vận tải đường bộ; N24: Dịch vụ vận tải đường thủy; N25: Dịch vụ vận tải hàng không

Xét về tỷ lệ sử dụng năng lượng trong lĩnh vực giao thông so với toàn bộ các ngành của nền kinh tế là 23% của năm 2015.

Theo báo cáo của Lê Anh Tuấn và các tác giả (2021) cho thấy việc chuyển đổi sang phương tiện giao thông điện là xu hướng tất yếu nhằm giảm tiêu thụ năng lượng và phát thải trong lĩnh vực giao thông. Đồng thời, phương tiện xe điện có hiệu suất sử dụng năng lượng cao hơn so với phương tiện sử dụng động cơ đốt trong, góp phần nâng cao hiệu quả năng lượng tổng thể [40].

Nghiên cứu thống kê – xây dựng dữ liệu tiêu thụ nhiên liệu của nhóm tác giả Trương Mạnh Hùng và các tác giả (2023) về xây dựng cơ sở dữ liệu tiêu thụ nhiên liệu cho xe con tại Việt Nam kết luận rằng tiêu thụ nhiên liệu phụ thuộc vào ba yếu tố: khối lượng xe; dung tích động cơ và điều kiện vận hành [41].

Thông qua chương trình dán nhãn năng lượng đối với ô tô do Cục Đăng kiểm Việt Nam triển khai, các dữ liệu tiêu thụ nhiên liệu của phương tiện đã được công bố theo nhiều tiêu chí kỹ thuật khác nhau. Kết quả cho thấy mức tiêu thụ nhiên liệu có sự khác biệt giữa các nhóm xe và chịu ảnh hưởng bởi một số thông số đặc trưng, trong đó bao gồm khối lượng phương tiện và dung tích động cơ, hình 1.19 [42]. Việc phân loại này không chỉ phản ánh đặc tính tiêu hao nhiên liệu của từng nhóm xe mà còn cung cấp cơ sở thực tiễn cho việc xem xét vai trò của khối lượng trong đánh giá hiệu quả sử dụng nhiên liệu.



a. Tem nhãn năng lượng trên xe 5
chỗ ngồi



b. Tem nhãn năng lượng trên xe 7
chỗ ngồi

Hình 1.19. Tem nhãn mức tiêu thụ nhiên liệu trên ô tô

1.6.3. Khoảng trống các nghiên cứu và hướng tiếp cận của luận án

Mức tiêu thụ nhiên liệu của ô tô qua phân tích của các công trình nghiên cứu ở trong nước và ngoài nước đã công bố, có thể thấy được rằng phần lớn các nghiên cứu, công bố tập trung vào ảnh hưởng của các yếu tố vận hành như tốc độ, chu trình lái, chế độ tải hoặc điều kiện giao thông. Có ít công trình đã đề cập đến về ảnh hưởng của khối lượng xe, tuy nhiên chủ yếu dừng lại ở công bố mang định tính hoặc đánh giá thông qua mô phỏng trong phòng thí nghiệm, chưa xây dựng được mối quan hệ định lượng cụ thể giữa khối lượng xe và mức tiêu thụ nhiên liệu.

Ngoài ra, các nghiên cứu và công bố thực nghiệm hiện có thường sử dụng các chu trình lái tiêu chuẩn với bộ đo nhiên liệu thương mại, chưa chú trọng đến việc xây dựng chu trình xe chạy thí nghiệm để phù hợp với điều kiện nghiên cứu cụ thể. Hoặc nghiên cứu thực nghiệm trên các bộ thử trong phòng thí nghiệm với các điều kiện hoạt động không giống như điều kiện hoạt động thực tế bên ngoài nên cho kết quả chưa sát với thực tế.

Việc so sánh, đánh giá sai khác giữa kết quả mô phỏng và kết quả thực nghiệm trong cùng một khuôn khổ nghiên cứu còn hạn chế. Ngoài ra, phối hợp đồng bộ giữa ba phương pháp: mô hình lý thuyết, mô phỏng và thực nghiệm để đánh giá ảnh hưởng của khối lượng ô tô đến mức tiêu thụ nhiên liệu vẫn còn là khoảng trống nghiên cứu cần tiếp tục được làm rõ.

Từ những khoảng trống đã phân tích trên, luận án đưa ra hướng tiếp cận là sử dụng cả ba phương pháp: mô hình hóa – mô phỏng và nghiên cứu thực nghiệm, trong đó tập trung xây dựng sự phụ thuộc định lượng giữa khối lượng tổng thể xe và mức tiêu thụ nhiên liệu của ô tô. Đồng thời, luận án xây dựng chu trình xe chạy thí nghiệm và thiết kế, chế tạo, kiểm định bộ đo tiêu thụ nhiên liệu phục vụ cho thực nghiệm để lấy kết quả. Từ kết quả đó nhằm kiểm chứng với các kết quả mô phỏng, qua đó làm nổi bật tính mới, tính thực tiễn và giá trị

ứng dụng của hướng nghiên cứu.

KẾT LUẬN CHƯƠNG 1

Biến đổi khí hậu và ô nhiễm môi trường đang là vấn đề toàn cầu cấp bách, trong đó ngành giao thông vận tải đóng góp đáng kể vào lượng phát thải khí nhà kính (khoảng 27–32% tổng lượng phát thải tại Mỹ, 16% tổng tiêu thụ năng lượng tại Việt Nam năm 2018). Với số lượng ô tô lưu hành trên thế giới dự báo đạt 2 tỷ xe vào năm 2030 và tại Việt Nam có thể lên tới 8–9 triệu xe, việc nghiên cứu giảm mức tiêu thụ nhiên liệu cho ô tô con mang ý nghĩa khoa học và thực tiễn to lớn.

Mức tiêu thụ nhiên liệu của ô tô là hàm của nhiều yếu tố, trong đó khối lượng xe đóng vai trò trung tâm thông qua tác động trực tiếp đến các lực cản chuyển động, bao gồm lực cản lăn, lực cản lên dốc và lực cản quán tính. Mối quan hệ này được thể hiện qua các phương trình động lực học xe. Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng khi giảm 10% khối lượng xe có thể tiết kiệm từ 6–8% nhiên liệu, với mức tác động mạnh nhất trong điều kiện vận hành đô thị có nhiều lần tăng giảm tốc.

Trên thế giới đã có nhiều công trình nghiên cứu của MIT, Volkswagen, Ford Motor, Ủy ban Châu Âu, EPA Hoa Kỳ và các nhóm tác giả từ Nhật Bản, Ukraine, Jordan, Colombia, Phần Lan... tiếp cận vấn đề từ nhiều góc độ khác nhau, từ định lượng mối quan hệ khối lượng – nhiên liệu, nghiên cứu vật liệu nhẹ, đến mô phỏng và thực nghiệm trên bộ thử. Tuy nhiên, phần lớn các nghiên cứu này được thực hiện trong điều kiện vận hành và cơ sở hạ tầng giao thông của các nước phát triển, chưa phản ánh đầy đủ đặc thù của điều kiện vận hành thực tế tại Việt Nam.

Tại Việt Nam, các nghiên cứu về mức tiêu thụ nhiên liệu xe con mới dừng lại ở việc xây dựng đường cơ sở và thống kê số liệu theo giai đoạn, chưa có công trình nào nghiên cứu một cách hệ thống và định lượng đầy đủ về mức

độ ảnh hưởng của khối lượng xe đến mức tiêu thụ nhiên liệu trong các điều kiện vận hành đặc thù của Việt Nam.

Từ phân tích tổng quan cho thấy còn tồn tại những khoảng trống nghiên cứu cần được giải quyết, cụ thể là: chưa có mô hình định lượng tin cậy về quan hệ khối lượng – mức tiêu thụ nhiên liệu phù hợp với điều kiện đường sá và chu trình lái xe tại Việt Nam; chưa có số liệu thực nghiệm đủ độ tin cậy theo các dải khối lượng xe phổ biến trên thị trường Việt Nam; và chưa có đánh giá tổng hợp về đóng góp riêng của khối lượng so với các yếu tố khác trong điều kiện thực tế trong nước.

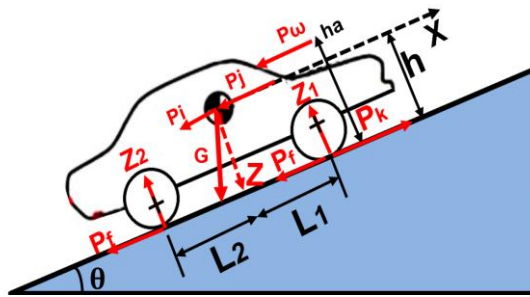
Từ những kết luận trên, luận án xác định hướng nghiên cứu tập trung vào việc xây dựng mô hình lý thuyết, tiến hành thực nghiệm và phân tích định lượng mức độ ảnh hưởng của khối lượng xe con đến mức tiêu thụ nhiên liệu trong điều kiện vận hành tại Việt Nam, từ đó đề xuất các giải pháp kỹ thuật và khuyến nghị có cơ sở khoa học, phục vụ công tác thiết kế và hoạch định chính sách giao thông vận tải quốc gia.

CHƯƠNG 2: CƠ SỞ KHOA HỌC NGHIÊN CỨU

2.1. MÔ HÌNH ĐỘNG LỰC HỌC CHUYỂN ĐỘNG Ô TÔ

Lực kéo P_k ô tô giúp xe chuyển động, trong khi chuyển động cần thắng các lực cản không khí, lực cản quán tính, lực cản lăn và lực cản lên dốc, hầu hết các lực cản đều bao gồm thông số khối lượng xe. Như vậy, các lực cản khi xe chuyển động đều ảnh hưởng đến động lực học của xe và sự tiêu thụ nhiên liệu của động cơ.

Sơ đồ mô hình động lực học ô tô trình bày trên hình 2.1.



Hình 2.1. Sơ đồ mô hình động lực học dọc ô tô

Các thông số cơ bản của mô hình áp dụng với xe nghiên cứu Toyota Vios 2009 nêu trong bảng 2.1.

Bảng 2.1. Các số liệu của mô hình

	Ký hiệu	Giá trị	Ghi chú
Khối lượng tương đương của xe kg	m	1170	Tham khảo nhà SX
Hiệu suất HTTL	η	0,9	Tham khảo
Tỷ số truyền HTTL	i_t		Tham khảo nhà SX
Bán kính bánh xe (m)	r_{bx}	0,31	Tham khảo nhà SX
Tỷ trọng không khí (kg/m^3)	ρ		
Diện tích cản chính diện, m^2	A_f	1,8	Đo đạc
Hệ số cản không khí	C_d	0,22	Mô phỏng CFD
Gia tốc trọng trường (m/s^2)	g	9,81	-
Độ dốc mặt đường (%)	α	0	-
Hệ số ảnh hưởng của lốp và mặt đường	r_o, r_l		Tham khảo nhà SX

Công suất cực đại (mã lực/tốc độ vòng quay)	$N_{e\ max}$	107/6000	
Mô men xoắn của động cơ (Nm)/vph	T_e	14,4/4200	Tham khảo nhà SX
Vận tốc xe cực đại (km/h)	V	160	Tham khảo nhà SX

Công suất cần thiết để xe di chuyển chỉ để thắng các lực cản này theo phương trình cân bằng công suất (2.1).

$$P = \frac{(P_f + P_w + P_j + P_i)v}{\eta}; \quad W \quad (2.1)$$

Trong đó: P_f : Lực cản lăn, phụ thuộc vào khối lượng xe; P_w : Lực cản khí động học; P_j : Lực quán tính khi xe tăng tốc, giảm tốc; P_i : Lực cản khi xe lên, xuống dốc; v : Vận tốc xe (m/s); η : Hiệu suất của hệ thống truyền lực.

$$\text{– Lực kéo: } P_k = \frac{\eta_{it}}{r_{bx}} T_e; \quad N \quad (2.2)$$

η : Hiệu suất HTTL; i_i : Tỷ số truyền HTTL; r_{bx} : Bán kính bánh xe; T_e : Mô men xoắn của động cơ.

$$\text{– Lực cản lăn: } P_f = M_1 g \cos \alpha (r_0 + r_1); \quad N \quad (2.3)$$

M_1 kg: Khối lượng tương đương của xe; Gia tốc trọng trường $g = 9,81$ (m/s²); α : độ dốc mặt đường; r_0 và r_1 : Hệ số ảnh hưởng của lốp và mặt đường.

$$\text{– Lực cản không khí: } P_w = \frac{1}{2} \rho A_f C_d v^2; \quad N \quad (2.4)$$

ρ : là mật độ không khí (kg/m³); A_f : Diện tích cản chính diện; C_d : Hệ số cản không khí; v : Vận tốc xe (km/h).

$$\text{– Lực cản dốc: } P_i = M_1 g \sin \alpha; \quad N \quad (2.5)$$

α : góc dốc mặt đường.

Khi xe chuyển động, lực cản chuyển động của xe thay đổi, trong đó lực cản lăn liên tục thay đổi từ 10 đến 70%, trung bình 20% trên đường cao tốc, 25% đường ngoài đô thị, 30% đường trong đô thị. Áp suất lốp ảnh hưởng đến lực cản lăn, tăng khi áp suất lốp giảm dưới áp suất yêu cầu. Đối với lốp xe tải,

lực cản lăn tăng khoảng 5 đến 8% khi áp suất giảm 20% làm giảm 2 đến 3% khả năng tiết kiệm nhiên liệu trên xe tải [43].

Theo Hublau và Barillier [44], lực cản lăn phát sinh do tổn thất năng lượng trong quá trình biến dạng tuần hoàn của lớp khi tiếp xúc với mặt đường; đồng thời, theo Cho và các tác giả [45] chỉ ra rằng phần hoa lốp và lớp mặt lốp tiếp xúc trực tiếp với mặt đường có thể chiếm trên 40% tổng tổn thất lực cản lăn, tùy thuộc vào cấu trúc lốp và điều kiện tải trọng.

Theo các nghiên cứu của Pillai [46], Lin và Hwang [47], Cho và các tác giả [48], Luchini và Popio [49], tổn thất năng lượng của lốp chủ yếu phát sinh do biến dạng tuần hoàn của vật liệu cao su tại vùng tiếp xúc với mặt đường, dưới tác động của tải trọng, áp suất lốp và trạng thái nhiệt trong quá trình lăn.

Do đặc tính trễ nhớt đàn hồi của các thành phần cao su đã gây ra các biến dạng theo chu kỳ làm thay đổi lực cản lăn của lốp trong khi xe chuyển động [50].

Ứng dụng phương pháp số để tính toán tổn thất từ đặc tính trễ và lực cản lăn đều có điểm chung là tính gần đúng [51].

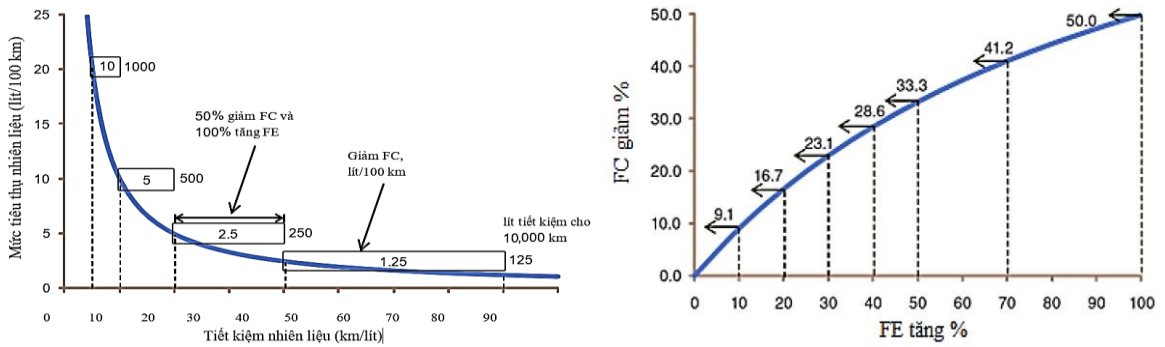
Ứng dụng toán học với chuỗi Fourier thường được sử dụng để tính gần đúng các chu kỳ biến dạng của lốp [52].

Thấy rằng trong thí nghiệm lực cản lăn thay đổi theo sự phức tạp của điều kiện vận hành [53].

2.2. MỨC TIÊU THỤ NHIÊN LIỆU VÀ TIẾT KIỆM NHIÊN LIỆU

FC biểu thị lượng nhiên liệu đã tiêu thụ trên một đơn vị chiều dài xe di chuyển (lít/km, kg/km...). Mức tiết kiệm nhiên liệu (Fuel economy – FE) biểu thị chiều dài xe đã di chuyển trên một đơn vị nhiên liệu (km/lít, km/kg...). Mức tiêu thụ nhiên liệu và mức tiết kiệm nhiên liệu có quan hệ không tuyến tính với nhau như hình 2.2, trong đó quan hệ tỷ lệ theo hình (a) hoặc quan hệ % theo

hình (b).



a. Mối quan hệ tỷ lệ giữa FC và FE b. Mối quan hệ % giữa FC và FE

Hình 2.2. Biểu thị hệ giữa FC và FE

Trên hình (a) các số trong ô hình chữ nhật biểu thị mức giảm của FC/100 km và con số bên phải là tổng lượng nhiên liệu tiết kiệm được trên 10.000 km. Trên hình (b) các mũi tên biểu thị đường dóng kẻ tỷ lệ phần trăm của mức giảm FC so với FE [15].

Như vậy mức tiêu thụ nhiên liệu là nghịch đảo (inverse) của mức tiết kiệm nhiên liệu. FC và FE có cách tính khác nhau ở mỗi nước, như Hoa Kỳ tính theo gallon/100 dặm, ở các châu khác trong đó có Việt Nam và một số nơi khác tính theo lít trên 100 km. FC được đo trực tiếp theo thể tích (bằng chỉ thị trên bảng táp lô xe để người sử dụng theo dõi bổ sung). Thông thường mức tiết kiệm nhiên liệu được sử dụng đối với đội xe (trung bình theo trọng số doanh số bán hàng) cho các chu trình hoạt động như trong thành phố đông dân cư, đường cao tốc. Mức tiêu thụ nhiên liệu là thước đo so sánh mức tiết kiệm nhiên liệu hàng năm cho một người chuyển từ phương tiện có mức tiêu thụ nhiên liệu nhất định sang phương tiện có mức tiêu thụ nhiên liệu khác [54].

2.3. CÁC MÔ HÌNH XÁC ĐỊNH MỨC TIÊU THỤ NHIÊN LIỆU TRÊN Ô TÔ

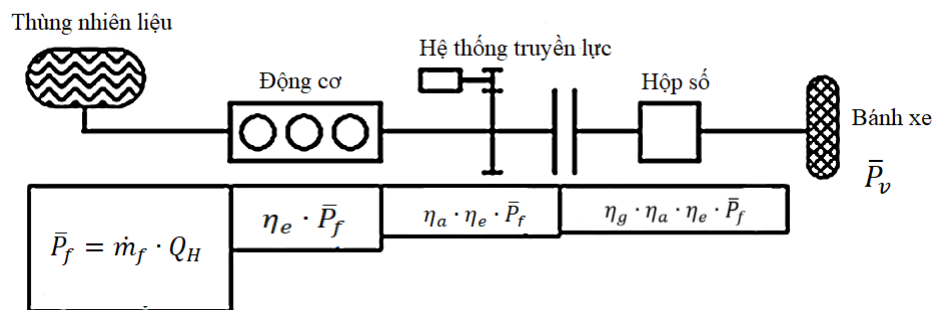
Cách xác định mức tiêu thụ nhiên liệu ô tô rất đa dạng vì nó phụ thuộc vào nhiều yếu tố và có tính đến quy định của mỗi nước. Từ tham khảo cách tính toán của một số nước tiêu biểu, luận án đã ra ba mô hình đặc trưng.

2.3.1. Mô hình điểm hoạt động trung bình của xe FC_{av}

Khi xe hoạt động trên đường sẽ bao gồm nhiều điểm vận hành động cơ và của xe (gọi chung là điểm hoạt động của xe). Mô hình gộp toàn bộ tất cả các điểm hoạt động của xe thành một điểm đại diện duy nhất để tính toán mức tiêu thụ nhiên liệu FC_{av} tại đó với các chế độ xác định gọi là mô hình điểm hoạt động trung bình của xe và được giải bằng công cụ mô hình hóa và mô phỏng.

a) Mô hình hóa

Sơ đồ tính toán mức tiêu thụ nhiên liệu của xe được nêu trên hình 2.3.



Hình 2.3. Mô hình hóa tính toán mức tiêu thụ nhiên liệu trên động cơ đốt trong

Năng lượng sinh ra do nhiên liệu khi động cơ tiêu thụ và năng lượng trên bánh xe chủ động được biểu diễn bằng phương trình cân bằng công suất (2.6)

$$\bar{P}_v = \eta_g \eta_a \eta_e \bar{P}_f ; W \quad (2.6)$$

Ở đây: \bar{P}_f là công suất nhiên liệu mà động cơ tiêu thụ; \bar{P}_v là công suất riêng của xe; \dot{m}_f là lưu lượng trung bình của nhiên liệu; Q_H là nhiệt trị của nhiên liệu; η_g là tổn thất của HTTL; η_a là tổn thất do các thiết bị phụ trợ; η_e là tổn thất trong động cơ.

b) Mô phỏng

+ Các giả thiết

- Chỉ có công suất riêng tại bánh xe \bar{P}_v tham gia vào quá trình tính toán, bỏ qua giai đoạn chạy trơn, phanh của chu trình.
- Bỏ qua tiêu thụ nhiên liệu nổ không tải và chế độ "ngắt nhiên liệu".

+ Xác định nhiệt trị của nhiên liệu

Nhiên liệu nói chung và xăng nói riêng sử dụng trên động cơ SI là nhiên liệu truyền thống đã được sử dụng ổn định trong hàng trăm năm qua. Hiệu suất động cơ được cải thiện chủ yếu nhờ công nghệ chế tạo động cơ hiện đại. Do đó, tiềm năng cải thiện mức tiêu thụ nhiên liệu sẽ không xét đến các thuộc tính riêng của nhiên liệu và công nghệ chế tạo động cơ nhưng cần xét đến điều kiện nhiệt độ, áp suất bình chứa ảnh hưởng đến tính ổn định các đặc tính của nhiên liệu.

Nhiệt trị của nhiên liệu được xác định nhiệt trị ròng, là năng lượng hữu ích của nhiên liệu, đã trừ đi năng lượng bị mất do hình thành hơi nước trong quá trình đốt cháy (không thể lấy lại được). Thông số chính và nhiệt trị ròng của hai loại nhiên liệu điển hình sử dụng trên ô tô nêu trong bảng 2.2.

Bảng 2.2. Giá trị nhiệt trị của hai nhiên liệu chính

	Khối lượng (mass Q_H) ^(*)	Mật độ nhiên liệu (Fuel density) ^(**)	Thể tích (Volume Q_H)	Thể tích tương đương (Equivalent of volume Q_H in kWh)
Xăng	43,5 MJ/kg ⁽¹⁾	0,755 kg/lít ⁽²⁾	32,8 MJ/lít	9,12 kWh/lít
Dầu Diesel	42,5 MJ/kg ⁽¹⁾	0,845 kg/lít ⁽²⁾	35,9 MJ/lít	9,97 kWh/lít

Với: 1(J) = 1(N.m); 1(Wh) = 3600(J) và 1(MJ) = 0,278 kWh; 1 kWh = 3,6 MJ.

(*) Q_H tính bằng MJ/lít hoặc MJ/m³. Q_H của xăng là 32,8 MJ/lít.

(**) Mật độ của mỗi loại nhiên liệu phụ thuộc vào quy trình sản xuất, nhiệt độ và áp suất xung quanh nên không là giá trị tổng quát. Các tiêu chuẩn Châu Âu EN 228 và EN 590 quy định khối lượng riêng của xăng nằm trong khoảng từ 0,72 kg/lít đến 0,775 kg/lít và của dầu diesel nằm trong khoảng từ 0,820 đến 0,845 kg/lít ở 15 °C áp dụng với khí hậu ôn đới.

Lượng khí thải CO₂ được biểu thị bằng tấn cacbon dioxide (CO₂) hoặc tấn

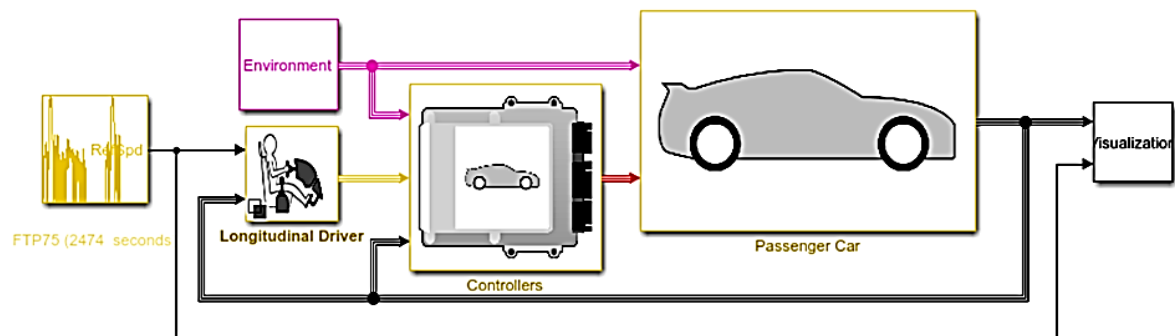
cacbon (C) theo tỉ số không đổi (bằng 3,67), trong đó thành phần nguyên tử của CO₂ là $(12 + (2 \times 16) = 44)$. Lượng CO₂ thải ra trên mỗi lít nhiên liệu phụ thuộc vào nhiều yếu tố như áp suất xung quanh, nhiệt độ và chất lượng nhiên liệu với giá trị điển hình: Một lít xăng tiêu thụ tạo ra 2,35 kg cacbon dioxide, hay 0,64 kg C; một lít dầu diesel tiêu thụ tạo ra 2,66 kg cacbon dioxide, hay 0,72 kg C.

+ Xác định các thông số đầu vào

Các thông số đầu vào gồm chu kỳ thử nghiệm, kiểu lái xe và công suất trung bình tại bánh xe P_v . Quá trình mô phỏng được thực hiện theo hướng thuận và kiểm chứng ngược để đánh giá độ tin cậy mô hình. Kết quả mô phỏng được đối chiếu với dữ liệu thử nghiệm nhằm xác định sai số.

+ Chạy chương trình mô phỏng

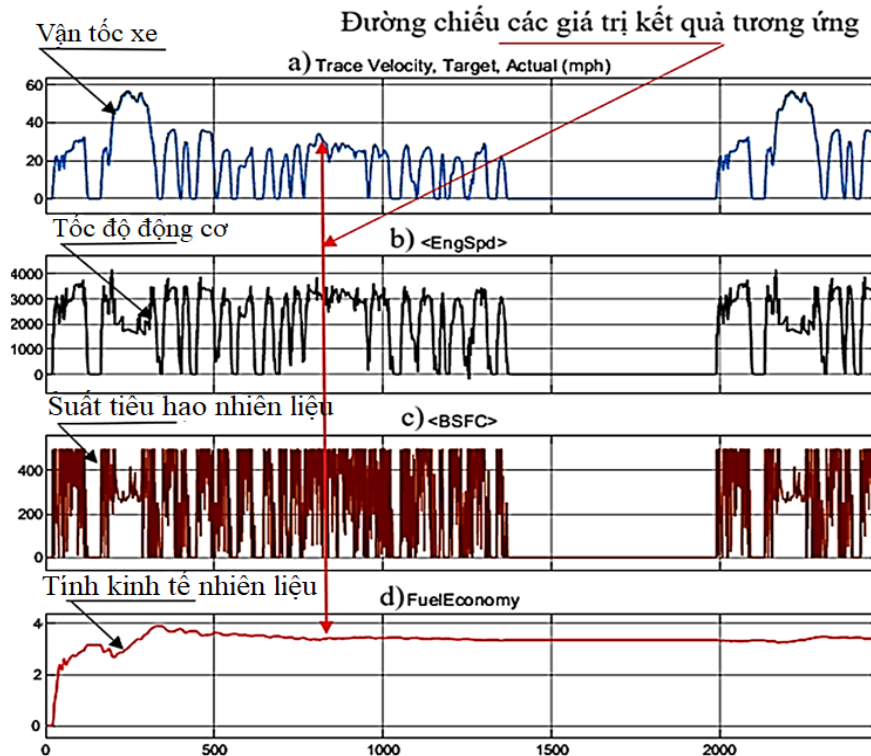
Dùng công cụ Matlab Simulink mô phỏng: “Conventional Vehicle Spark-Ignition Engine Fuel Economy and Emissions”, cập nhật các thông số xe khảo sát, động cơ đánh lửa cưỡng bức (SI) 1,5 L. Chu trình lái xe trong thành phố (FTP75) và cao tốc (HWFET) [55]. Sơ đồ khối Simulink của ứng dụng nêu trên hình 2.4.



Hình 2.4. Sơ đồ Simulink ứng dụng xác định mức tiêu thụ nhiên liệu trên ô tô theo mô hình điểm hoạt động trung bình của xe

Tập hợp kết quả chung về mức tiêu thụ nhiên liệu của xe là giá trị gần đúng tổng của hai chu trình xe chạy tương ứng 55% xe chạy trên đường thành phố và 45% xe chạy trên đường cao tốc. Kẻ một đường thẳng chiếu kéo theo

các đồ thị, ta nhận được các giá trị kết quả tương ứng của vận tốc xe, số vòng quay động cơ, công suất tiêu thụ và mức nhiên liệu tiêu thụ, hình 2.5.



Hình 2.5. Đồ thị kết quả mô phỏng xác định mức tiêu thụ nhiên liệu trên ô tô theo mô hình điểm hoạt động trung bình của xe

Như vậy thông số đầu vào là chu trình xe chạy ngoài thành phố FTP75 và đường cao tốc HWFET nhận được kết quả là mức tiêu thụ nhiên liệu (lít/100 km). Đặt tỷ lệ thời gian trên trục hoành cùng tỷ lệ xích để đối chiếu cho thấy trong quá trình xe chạy vận tốc xe thay đổi từ “0” đến giá trị cực đại 57 km/h, các thay đổi không theo chu kỳ do thực tế xe phanh, giảm tốc độ theo tình trạng giao thông và những điều kiện thực tế lấy theo điểm hoạt động trung bình của xe cho mức tiêu thụ nhiên liệu là 4,5 lít/100 km cao hơn xe chạy ngoài thành phố có mức tiêu thụ nhiên liệu là 3,3 lít/100 km. Tỷ lệ khác này là 17%. Tổng cộng hỗn hợp là 3,9 lít/100 km.

+ Xác định khả năng ứng dụng

Trong các tài liệu đã công bố cho thấy phương pháp điểm hoạt động

trung bình của xe có thể đưa ra ước tính hợp lý về mức tiêu thụ nhiên liệu của xe có hệ thống truyền lực đơn giản nhưng không phù hợp với các vấn đề cần phải được tối ưu hóa cấu trúc trên xe nên nó không cung cấp tùy chọn các chiến lược quản lý năng lượng trên xe.

Với những phân tích trên nhằm tổng hợp đảm bảo sự đầy đủ của phương pháp luận nghiên cứu nên trong luận án chỉ sử dụng phương pháp này làm tài liệu tham khảo cho mục đích nghiên cứu.

- Ưu điểm:

- Đơn giản, dễ tiếp cận;
- Dễ dàng mô phỏng với các công cụ như Matlab/Simulink;
- Phù hợp cho đánh giá sơ bộ mức tiêu thụ nhiên liệu;
- Có thể dùng làm tài liệu tham khảo, so sánh nhanh..

- Nhược điểm:

- Không phản ánh chi tiết từng trạng thái vận hành thực;
- Không cho phép tối ưu cấu trúc hoặc chiến lược điều khiển năng lượng;
- Không mô tả tốt các chu kỳ vận hành không ổn định hoặc phức tạp;
- Sai số cao nếu áp dụng cho các dòng xe có công nghệ tiên tiến hoặc hệ truyền lực phức tạp.

2.3.2. Mô hình động lực học FC_{dyn}

Mô hình động lực học FC_{dyn} tính mức tiêu thụ nhiên liệu theo thông số gia tốc chuyển động của xe, được xây dựng từ phương trình động lực học với tập hợp các phương trình vi phân thường ở dạng không gian trạng thái [56].

Một trong những cách tính FC_{dyn} là xây dựng phương trình (2.7) [57].

$$M_1 \frac{dv}{dt} = \left(\frac{\eta_{it}}{r_{bx}} T_e \right) - (M_1 g \cos \alpha (r_0 + r_1)) - \left(\frac{1}{2} \rho A_f C_d v^2 \right) - (M_1 g \sin \alpha) - P_p \quad (2.7)$$

Khai triển phương trình (2.7) thành (2.8).

$$M_1 \left(\frac{dv}{dt} + g \cos \alpha (r_0 + r_1) + g \sin \alpha \right) = \left(\frac{\eta_{it}}{r_{bx}} T_e \right) - \left(\frac{1}{2} \rho A_f C_d v^2 \right) - P_p \quad (2.8)$$

Có thể viết phương trình (2.8) dưới dạng (2.9)

$$\frac{dv}{dt} = \frac{1}{C_1(\gamma)} (C_2(\gamma) T_e - C_3 v - C_4(\alpha) - P_p) \quad (2.9)$$

Với:

$$C_1(\gamma) = \frac{1}{M_1}; C_2(i_t) = \frac{\eta i_t}{r_{bx}}; C_3 = \frac{1}{2} \rho A_f C_d; C_4(\alpha) = M_1 g (\cos(\alpha) r_0 + \sin \alpha)$$

Các hệ số $C_1(\gamma)$ phụ thuộc vào khối lượng xe, $C_2(i_t)$ phụ thuộc vào việc lựa chọn tỷ số truyền HTTL, $C_3(A_f)$ phụ thuộc vào thiết kế xe và $C_4(\alpha)$ phụ thuộc vào khối lượng xe và mặt đường.

Tại một thời điểm xác định, mức tiêu thụ nhiên liệu $FC_{\text{dyn_point}}$ của xe liên quan đến tải trọng, mô men xoắn của động cơ, vận tốc xe chạy, được tính theo phương trình (2.10).

$$FC_{\text{dyn_point}} = C_5 T_e(t) v(t) - C_6 v(t)^2 + C_7 v(t) + C_8; \quad \frac{L}{100 \text{ km}} \quad (2.10)$$

$$\text{Với: } C_5 = \frac{i_t}{\eta_e Q_H r_{bx}}; C_6 = \frac{P_{\text{loss}} V_{dc}}{\eta_e Q_H 4\pi} \left(\frac{i_t}{r_{bx}} \right)^2; C_7 = \frac{P_{\text{loss}} V_{dc}}{\eta_e Q_H 4\pi} \left(\frac{i_t}{r_{bx}} \right); C_8 = C_{kt}(S)$$

Và η_e là hiệu suất trung bình của động cơ; Q_H là nhiệt trị thấp của nhiên liệu; P_{loss} là tổn hao ma sát trung bình của động cơ; V_{dc} là thể tích công tác của động cơ. Các hệ số C_5 , C_6 và C_7 phụ thuộc vào tỷ số truyền HTTL đang sử dụng. C_8 và $C_{kt}(S)$ là mức tiêu thụ nhiên liệu ở chế độ không tải của động cơ.

Theo thời gian thực từ điểm $p = 1$ đến $p = p - 1$, mức tiêu thụ nhiên liệu $FC_{\text{dyn_total}}$ của xe là tổng của các $FC_{\text{dyn_point}}$ của xe, phương trình (2.11) liên quan đến mô-men xoắn đầu ra của động cơ và vận tốc trung bình xe chạy.

$$FC_{\text{dyn_total}} = \sum_{i=0}^{p-1} C_5(g) T_i v_i - C_6(g) v_i^2 + C_7(g) v_i + C_8; \quad \frac{L}{100 \text{ km}} \quad (2.11)$$

$$\text{Với} \quad T_i = \frac{1}{C_2(g)} \left(C_1(g) \frac{v_{i+1} - v_i}{\tau} + C_3 f(g) v_i + C_4 f(g, \delta) \right)$$

Rời rạc hóa các thông số của phương trình (2.10) viết thành dạng không gian trạng thái với thời gian mô phỏng τ theo thời gian thực (2.12)

$$x(k+1) = Ax(k) + Bu(k) + D \quad (2.12)$$

Ở đây: $x(k)$ là vận tốc của xe tại thời điểm hiện tại; $u(k)$ là lực tác dụng lên xe ở bước thời gian hiện tại τ , $Te(k)$ là mô men động cơ và $Pp(k)$ là tổng lực phanh. A, B, D là các hệ số không gian trạng thái tại một tay số truyền nào đó, A liên quan đến khối lượng xe M_1 và hệ số khí động học C_d ; B liên quan đến khối lượng xe M_d và số tay số; D liên quan đến khối lượng xe và mặt đường. Các giá trị của hệ số A, B, D gồm:

$$A = \frac{C_1(i_t) - \tau C_3}{C_1(i_t)}; \quad B = \left[\frac{\tau C_2(i_t)}{C_1(i_t)} - \frac{\tau}{C_1(i_t)} \right];$$

$$D = \frac{\tau C_4(\alpha)}{C_1(i_t)}; \quad u(k) = \begin{bmatrix} T_e(k) \\ P_p(k) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} u_1(k) \\ u_2(k) \end{bmatrix}$$

- Ưu điểm:
 - Phản ánh sát điều kiện vận hành thực tế của xe theo thời gian thực;
 - Cho phép đánh giá mức tiêu thụ nhiên liệu trong nhiều điều kiện địa hình, tải trọng, chế độ vận hành khác nhau;
 - Hỗ trợ tốt việc kiểm tra mức phát thải, đánh giá toàn đoàn xe;
 - Cho phép tối ưu hóa chiến lược điều khiển, phản hồi kỹ thuật đến nhà sản xuất.
- Nhược điểm:
 - Phức tạp trong xây dựng mô hình và yêu cầu kiến thức cao về điều khiển động lực học;
 - Cần nhiều thông số đầu vào chính xác, khó thu thập đầy đủ trong thực nghiệm;
 - Cần sử dụng phần mềm chuyên dụng như MOVES, AVL Boost, CAFE... (một số có bản quyền);
 - Không phù hợp cho nghiên cứu đơn lẻ hay bộ đo đơn giản.
- Ứng dụng của mô hình động lực học FC_{dyn} được sử dụng khảo sát tổng thể đối với đoàn xe để giải quyết hai mục đích chính:
 - Kiểm tra mức phát thải của đoàn xe trong khoảng thời gian dài và số km

sử dụng lớn;

– Đánh giá tính kinh tế nhiên liệu của những đoàn xe trong sử dụng và phản hồi kết quả đến nhà sản xuất thay đổi tính năng kỹ thuật của xe hoặc bổ sung thiết kế nhằm có những giá trị mức tiêu thụ nhiên liệu hợp lý.

Vì vậy để giải phương trình động lực học FC_{dyn} , các hãng thường có những công cụ riêng biệt và đánh giá độc lập. Có thể minh họa những phần mềm tiêu biểu như:

Phần mềm MOVES (Motor Vehicle Emission Simulator) là mô hình phát thải khi xe chạy trên đường cao tốc do Cơ quan Bảo vệ Môi trường Hoa Kỳ (EPA) phát triển. MOVES tính toán mức tiêu thụ nhiên liệu của phương tiện và lượng khí thải NO_x , CO và các chất gây ô nhiễm và tiền chất khác gây ô nhiễm dựa trên các yếu tố phát thải và thành phần đội xe giao thông [54].

Phần mềm CAFE do trung tâm Hệ thống Giao thông Quốc gia Volpe của Bộ Giao thông Vận tải Hoa Kỳ đã phát triển một hệ thống mô hình hóa để hỗ trợ NHTSA trong việc đánh giá các tiêu chuẩn CAFE và tính kinh tế nhiên liệu của các xe đang sử dụng theo thời gian trong một năm để đáp ứng các tiêu chuẩn khí thải mới và phát triển thành tiêu chuẩn tiết kiệm nhiên liệu trung bình CAFE [58].

Phần mềm AVL Boost là gói phần mềm mô phỏng chuyên sâu về động cơ đốt trong được lắp đặt tại Phòng thí nghiệm – Đại học Bách khoa Hà Nội. Phần mềm do hãng AVL của Áo đã xây dựng và phát triển để tính toán và mô phỏng các quá trình hoạt động trong động cơ [59].

2.3.3. Mô hình tĩnh học FC_{stat}

Mô hình tĩnh học tính mức tiêu thụ nhiên liệu theo thông số vận tốc chuyển động của xe, dựa vào mô hình phân tích lực kéo tiếp tuyến thẳng các lực cản để xe chuyển động trên đường. Mức tiêu thụ nhiên liệu trong mô hình này ký

hiệu FC_{stat} được xác định bằng phương pháp phân phối năng lượng nhiên liệu từ động cơ đến hệ thống truyền động và đến bánh xe dẫn động và có thể sử dụng những công nghệ trong đó có giảm khối lượng xe gồm:

- (i) Cải tiến động cơ để tăng công suất hữu ích trên mỗi đơn vị năng lượng nhiên liệu đầu vào. Giảm ma sát động cơ hoặc điều khiển thời điểm đóng mở van biến thiên là những ví dụ về các loại này;
- (ii) Cải tiến hộp số để tăng hiệu suất truyền công suất từ động cơ đến hệ thống truyền động và bánh xe;
- (iii) Giảm thiểu tổn thất phụ trong các phụ kiện như quạt làm mát, máy phát điện và bơm nước. Sử dụng các công nghệ thu hồi nhiệt khí thải và điều khiển HVAC;
- (iv) Sử dụng hệ thống truyền động thay thế, tiết kiệm nhiên liệu hơn như hệ thống truyền động điện hybrid, truyền động điện;
- (v) Giảm trọng lượng xe để giảm lực quán tính và các lực cản (lực cản khí động học, lực cản lăn của lốp) để giảm yêu cầu về lực đẩy của động cơ và giảm năng lượng nhiên liệu cần thiết để di chuyển xe trên đường.

Mức tiêu thụ nhiên liệu của ô tô FC_{stat} được xác định bởi phương trình tổng quát (2.13), [60 – tr443].

$$FC_{\text{stat}} = \frac{\int g_e P dt}{\int v dt} = \frac{\int g_e \left(\frac{P_k v}{\eta} \right) dt}{\int v dt}; \quad \frac{\text{kg}}{\text{km}} \quad (2.13)$$

Khai triển theo nhiệt năng và công suất động cơ ta nhận được phương trình tính mức tiêu thụ nhiên liệu FC_{stat} (2.14)

$$FC_{\text{stat}} = \frac{1}{Q_{\text{nhiệt}} \eta_e} \frac{Pt}{100 \text{ km}}; \quad \frac{\text{L}}{100 \text{ km}} \quad (2.14)$$

Ở đây FC_{stat} là mức tiêu thụ nhiên liệu của xe theo mô hình tĩnh học (lít/100 km); t là thời gian hoạt động của xe (s); Q (J/lít) nhiệt là nhiệt trị của nhiên liệu tính theo bảng 2.2 ở trên; η_e là hiệu suất động cơ đốt trong (thường từ 25% đến 40%).

Từ phương trình cơ bản tính toán các lực cản chính trong quá trình xe di chuyển gồm lực cản lăn, lực cản khí động học và lực quán tính, công suất động cơ P cần thiết để xe di chuyển được xác định bởi phương trình (2.15).

$$P = \frac{(P_f + P_w + P_j)v}{\eta}; \quad \text{W} \quad (2.15)$$

Trong đó:

P : Công suất động cơ (W); P_f : Lực cản lăn, phụ thuộc vào khối lượng xe (N); P_w : Lực cản khí động học (N); P_j : Lực quán tính khi xe tăng tốc (N); v : Vận tốc xe (m/s); η : Hiệu suất của hệ thống truyền lực.

Các lực cản chuyển động ảnh hưởng tới công suất riêng của ô tô. Công suất riêng của ô tô tại bánh xe (Vehicle Specific Power – VSP), là công suất động cơ trên một đơn vị khối lượng của xe thể hiện nhu cầu năng lượng khi vận hành ở các điều kiện khác nhau và ở các tốc độ khác nhau. VSP được tính toán dựa trên vận tốc của xe và các lực cản mà xe cần phải vượt qua gồm lực cản lăn, lực cản không khí, lực cản quán tính, lực cản ma sát trong hệ thống và trọng lực. Nhân các lực này với tốc độ xe sẽ cho ra công suất cần thiết, là công suất mà xe cần thiết tại mỗi thời điểm để đạt và duy trì tốc độ mà người lái xe mong muốn theo phương trình (2.16).

$$VSP = (P_f + P_w + P_j + P_p) \frac{v}{M}; \quad \frac{\text{W}}{\text{kg}} \quad (2.16)$$

Ở đây: VSP : Công suất riêng của xe (W/kg); V : Vận tốc xe (m/s); M : Khối lượng xe kg [61].

Như vậy có thể thấy giữa công suất của động cơ và công suất riêng của ô tô có quan hệ thông qua các thông số ảnh hưởng gồm khối lượng xe, vận tốc xe, hiệu suất hệ thống truyền lực và tình trạng các lực cản chuyển động.

- Ưu điểm:
 - Đơn giản, dễ hiểu, dễ triển khai trong điều kiện thực nghiệm;
 - Dễ thu thập dữ liệu đầu vào: tốc độ, khối lượng, lực cản...;

- Phù hợp để đánh giá tác động của cải tiến kỹ thuật (giảm trọng lượng, tối ưu khí động học...);
- Thích hợp để thiết kế và thử nghiệm bộ đo tiêu thụ nhiên liệu thực tế.
- Nhược điểm:
 - Giới hạn trong việc mô phỏng các tình huống vận hành biến thiên mạnh (phanh, tăng tốc nhanh);
 - Không đánh giá tốt theo thời gian thực hoặc mô phỏng đoàn xe phức tạp;
 - Độ chính xác không cao nếu các yếu tố môi trường, điều kiện vận hành thay đổi lớn;
 - Không phản ánh độ trễ hay các đặc tính phi tuyến của động cơ một cách đầy đủ.

2.4. XÂY DỰNG PHƯƠNG PHÁP GIẢI MÔ HÌNH XÁC ĐỊNH FC VÀ FE

2.4.1. Xác định lượng tiêu thụ nhiên liệu theo phương pháp cân bằng cacbon

Phương pháp cân bằng cacbon (determining fuel consumption by the carbon balance method) được định nghĩa: Giả thiết rằng động cơ sẽ tạo ra lượng cacbon như lượng nhiên liệu tiêu thụ thì lượng nhiên liệu sử dụng có thể xác định bằng lượng cacbon thu được trong khí thải động cơ.

Thường tính toán mức tiết kiệm nhiên liệu FE bằng thí nghiệm để xác định thành phần khí thải trên một loại xe cụ thể [62].

Hãng lốp xe Michelin đã tiến hành thí nghiệm với 4 loại nhiên liệu theo chỉ thị 1999/100/EC của Ủy ban châu Âu về khí thải và điều chỉnh theo chỉ thị 80/1268/EEC liên quan đến khí thải cacbon dioxide và mức tiêu thụ nhiên liệu của xe cơ giới đã sử dụng các giả thiết:

- Bốn loại nhiên liệu chính là xăng, diesel, khí hóa lỏng (LPG) và khí tự

nhiên (NG) chỉ được làm từ hydrocacbon bão hòa (ankan);

– Hydrocacbon bão hòa chỉ bao gồm cacbon (C) và hydro (H), theo tỷ lệ cho trước.

Toàn bộ cacbon từ nhiên liệu thải ra trong khí thải sẽ được kết hợp hoàn toàn với ô xy từ không khí dưới dạng cacbon đioxit (CO_2), cacbon monoxit (CO) hoặc dưới dạng hydrocacbon không cháy (HC, còn gọi là VOC – Hợp chất hữu cơ dễ bay hơi).

Lượng CO_2 chính xác do một lít nhiên liệu tạo ra phụ thuộc vào nhiều yếu tố khác nhau như nhiệt độ, áp suất xung quanh và chất lượng nhiên liệu với những giá trị điển hình:

- 1 lít xăng sử dụng tạo ra 2,35 kg CO_2 , tức là 0,64 kg C;
- 1 lít dầu diesel được sử dụng tạo ra 2,66 kg CO_2 , tức là 0,72 kg C.

Tỷ lệ CO_2/C bằng 3,67 là tỷ lệ giữa khối lượng phân tử của CO_2 ($12 + (2 \times 16) = 44$) và khối lượng nguyên tử của C (là 12).

Lượng tiêu thụ nhiên liệu FC được tính theo các công thức:

– Xe chạy xăng:

$$FC_{\text{xăng}} = 0,1154/\rho [(0,866 \times \text{THC}) + (0,429 \times \text{CO}) + (0,273 \times \text{CO}_2)]$$

– Xe chạy Diesel:

$$FC_{\text{diesel}} = 0,1155/\rho [(0,866 \times \text{THC}) + (0,429 \times \text{CO}) + (0,273 \times \text{CO}_2)]$$

– Xe chạy LPG:

$$FC_{\text{LPG}} = 0,1212/\rho [(0,825 \times \text{THC}) + (0,429 \times \text{CO}) + (0,273 \times \text{CO}_2)]$$

– Xe chạy khí tự nhiên NVG:

$$FC_{\text{NVG}} = 0,1136/\rho [(0,749 \times \text{THC}) + (0,429 \times \text{CO}) + (0,273 \times \text{CO}_2)]$$

Với:

FC: lít/100 km đối với động cơ xăng và diesel, $\text{m}^3/100$ km đối với động cơ LPG và NGV; THC: Tổng lượng hydrocacbon đo được, g/km; CO: đo được, g/km; CO_2 : đo được, g/km; ρ : Tỷ trọng của nhiên liệu đo ở 15 °C [11, tr102].

2.4.2. Tính lượng tiết kiệm nhiên liệu FE theo phương pháp xấp xỉ

Phương pháp xấp xỉ tính gồm 7 bước: Tổng quan, mục đích, khả năng áp dụng, định nghĩa, tiêu chuẩn, đo đạc, và tính toán FE [63].

Mức tiết kiệm nhiên liệu FE được tính bằng phương trình (2.17)

$$FE_{RL} = \frac{N}{\sum_i \frac{N_i}{T_i}}; \frac{\text{km}}{\text{L}} \quad (2.17)$$

Ở đó: FE_{RL} là mức tiết kiệm nhiên liệu yêu cầu; N là tổng hành khách thiết kế trên xe; N_i là số hành khách thực trên xe; T_i là mức tiết kiệm nhiên liệu mục tiêu tính theo số hành khách thực trên xe, tính gần đúng theo phương trình (2.18)

$$T_i = \frac{1}{\frac{1}{a} + \left(\frac{1}{b} - \frac{1}{a}\right) \frac{e^{(x-c)d}}{1 + e^{(x-c)d}}} \quad (2.18)$$

Ở đó: a , b , c , và d là các thông số mục tiêu hàng năm theo mức tăng tiết kiệm nhiên liệu, chúng thay đổi theo từng năm tương ứng, với e là cơ số của logarit tự nhiên, $e = 2,718$; x là vết tiếp xúc bánh xe trên đường (m^2), bảng 2.3.

Bảng 2.3. Các hệ số a, b, c và d mục tiêu

Model	a (km/kg)	b (km/kg)	c (kg/km/m ²)	d (kg/km)
2018	45,21	33,84	0,0004954	0,001811
2019	46,87	35,07	0,0004783	0,001729
2020	48,74	36,47	0,0004603	0,001643
2021	49,48	37,02	0,000453	0,00162
2022	50,24	37,59	0,000447	0,00159
2023	51,00	38,16	0,000440	0,00157
2024	55,44	41,48	0,000405	0,00144
2025	60,26	45,08	0,000372	0,00133
2026	66,95	50,09	0,000335	0,00120

Có nhiều phương pháp tính toán theo phương pháp xấp xỉ được áp dụng trong nghiên cứu và đánh giá mức tiêu thụ nhiên liệu của ô tô. Trong đó, tiêu chuẩn CAFE đã được xây dựng như một chuẩn đánh giá mức tiêu hao nhiên

liệu trung bình của đội xe, được sử dụng rộng rãi trong công tác quản lý và xây dựng quy định về hiệu quả năng lượng [64].

Khi đánh giá mức tiêu thụ nhiên liệu, chỉ số FE được xác định theo các cách tiếp cận khác nhau tùy thuộc vào loại phương tiện, bao gồm xe con, xe sử dụng trong nội địa và xe tải nhẹ. Trong hệ thống CAFE, mỗi nhóm phương tiện được áp dụng các chu trình và phương pháp tính toán riêng nhằm phản ánh đúng đặc tính vận hành thực tế [65].

- Đối với xe con: tính theo 49 CFR Part 531.
- Đối với xe con nội địa: tính theo 49 CFR 531.5(d).
- Đối với xe tải nhẹ: tính theo 49 CFR Part 533.

2.4.3. Phương pháp tính online

Trong một số trường hợp cần xác định mức tiêu thụ nhiên liệu theo mục tiêu cụ thể, chẳng hạn phục vụ so sánh với dữ liệu đo trên xe thực tế, có thể sử dụng một số công cụ tính toán trực tuyến. Các công cụ này cung cấp kết quả mang tính tham khảo, hỗ trợ đánh giá nhanh xu hướng tiêu thụ nhiên liệu, điển hình như công cụ “Calculate Fuel Consumption” [66].

2.4.4. Phương pháp tính đại số

Khi cần thiết tính trực tiếp sẽ sử dụng tính toán đại số, mức tiêu thụ nhiên liệu sẽ tính trong trường hợp tổng quát, là tỷ số giữa suất tiêu hao nhiên liệu có ích g_e (kg/kWh) của động cơ và công suất tiêu hao để khắc phục các lực cản chuyển động được biểu thị theo phương trình (2.19).

$$q_d = \frac{0,36g_e(P_f \pm P_i + P_w \pm P_j)}{\rho_n \eta_t}; \frac{L}{100 \text{ km}}$$

$$q_d = \frac{g_e N_e}{\rho_n}; \frac{L}{h} \quad (2.19)$$

$$q_d = \frac{0,36g_e}{\rho_n \eta_t} \left(fG \cos \alpha \pm G \sin \alpha + Wv^2 \pm \frac{G}{g} \delta_i j \right); \frac{L}{100 \text{ km}}$$

Trong đó: Lực cản lăn $P_f = fG \cos \alpha$; lực cản quán tính $P_j = \frac{G}{g} \delta_i j$; lực cản

không khí $P_w = Wv^2$; lực cản lên dốc $P_i = G \sin \alpha$, hình 2.1; N_e là công suất có ích của động cơ; f là hệ số cản lăn; δ : hệ số ảnh hưởng bởi khối lượng chuyển động tịnh tiến và quay; G : khối lượng xe kg; j : gia tốc chuyển động (m/s^2); V : vận tốc trung bình xe (km/h) do chuyển động không ổn định [7].

2.4.5. Phương pháp mô phỏng số

Ngày nay với sự phát triển mạnh mẽ của máy tính điện tử cùng các phần mềm kỹ thuật số kết hợp với trí tuệ nhân tạo AI để ứng dụng mô phỏng số sẽ rút ngắn được nhiều thời gian mà đảm bảo chính xác và hiệu quả trong nhiều lĩnh vực.

Mô phỏng mức tiêu thụ nhiên liệu trên ô tô có một số phần mềm mô phỏng số được sử dụng phổ biến như:

- Phần mềm AVL Cruise chuyên dùng trong mô phỏng tiêu thụ nhiên liệu ô tô, thường sử dụng trong phòng thí nghiệm.
- Phần mềm GT-SUITE mô phỏng hệ thống động lực học của xe.
- Ngôn ngữ lập trình Python, sử dụng hai thư viện NumPy thực hiện các phép tính toán số học và Matplotlib vẽ đồ thị.
- Phần mềm Matlab/Simulink được sử dụng trong nhiều lĩnh vực, trong đó có học tập, nghiên cứu phát triển và ứng dụng trong thực tiễn. Khi xây dựng thuật toán trên nền tảng của Matlab/Simulink để giải sẽ có nhiều thuận lợi.

2.5. LỰA CHỌN MÔ HÌNH MÔ PHỎNG

Trong các mô hình luận án đã xây dựng, mô hình tĩnh học dựa trên các phương trình cơ học cơ bản, liên quan đến vận tốc, lực cản và hiệu suất hệ thống truyền lực, dễ kiểm soát và ít phức tạp hơn so với mô hình động lực học hoặc mô phỏng trung bình.

Mô hình FC_{stat} có những ưu điểm:

- Đơn giản, dễ xây dựng và triển khai, dễ thu thập dữ liệu đầu vào. Các

thông số đầu vào như vận tốc xe, khối lượng xe, hệ số lực cản... có thể đo được trực tiếp hoặc thông qua các bộ đo phổ biến, không cần đến công cụ mô phỏng phức tạp như Matlab/Simulink.

- Có khả năng hỗ trợ chiến lược quản lý năng lượng hay cải tiến cấu trúc xe, cho phép đánh giá các cải tiến kỹ thuật như giảm trọng lượng xe, tối ưu khí động học và nâng cao hiệu suất động cơ hoặc hộp số.

- Có khả năng linh hoạt và ứng dụng đa dạng. Có thể áp dụng cho nhiều loại: xe con, xe tải, xe hybrid... Có thể tùy biến để so sánh trước – sau cải tiến, hoặc mô phỏng các điều kiện vận hành cụ thể (tốc độ khác nhau, địa hình khác nhau...).

- Tính trực quan, minh bạch và khả năng giải thích cao. Do các tham số được xác định định lượng theo thời gian thực, các yếu tố ảnh hưởng đến tiêu thụ nhiên liệu được giải thích rõ, cụ thể và đều kiểm soát được.

- Tiết kiệm chi phí và dễ triển khai tại các cơ sở nghiên cứu, đào tạo. Khi sử dụng phần mềm đi kèm mô hình FC_{stat} sẽ không cần các phần mềm bản quyền đắt tiền như MOVES, CAFE, AVL Boost...

- Có khả năng trực tiếp thiết kế, chế tạo bộ đo tiêu thụ nhiên liệu nên phù hợp với các nghiên cứu thiết kế, các biện pháp kỹ thuật được đề xuất nhằm hạn chế mức tiêu thụ nhiên liệu. Trong quá trình thực hiện luận án này, NSC thực hiện đề tài NCKH cấp trường “Thiết kế, chế tạo bộ đo mức tiêu thụ nhiên liệu trên ô tô” đã giúp tăng độ tin cậy và tính ứng dụng của mô hình.

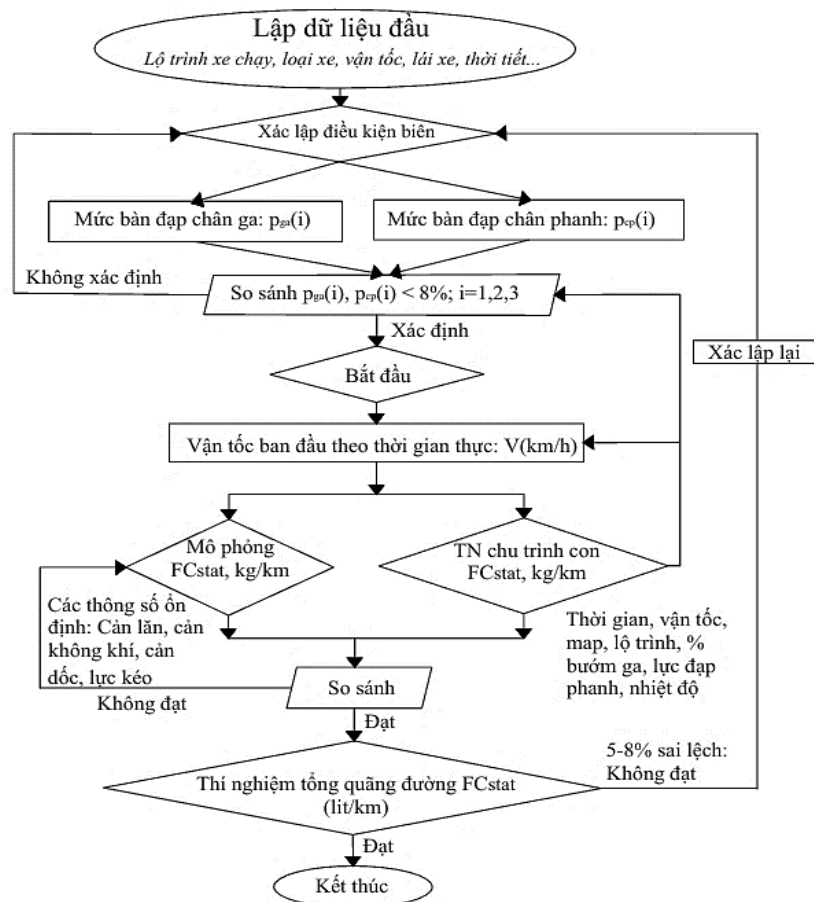
2.6. XÂY DỰNG THUẬT TOÁN FC_{STAT} VÀ PHƯƠNG PHÁP MÔ PHỎNG SIMULINK

Trên cơ sở mô hình FC_{stat} đã được lựa chọn và phân tích ở mục 2.5, tiến hành xây dựng thuật toán tính toán và mô hình mô phỏng trên Matlab/Simulink nhằm xác định mức tiêu thụ nhiên liệu của ô tô trong các điều kiện vận hành cụ

thể. Nội dung này tập trung làm rõ trình tự tính toán, cấu trúc mô hình và mối quan hệ giữa các đại lượng đầu vào – đầu ra.

2.6.1. Sơ đồ thuật toán

Sơ đồ thuật toán FC_{stat} theo mô hình tĩnh học và lập trình trong Matlab/Simulink xác định mức tiêu thụ nhiên liệu trên ô tô được trình bày trên hình 2.6.



Hình 2.6. Sơ đồ thuật toán FC_{stat} theo mô hình tĩnh học

Thuật toán mô tả toàn bộ quá trình từ khâu khởi tạo dữ liệu, chạy thí nghiệm, thu thập, xử lý dữ liệu, so sánh dữ liệu, thực hiện mô phỏng, đến kết thúc và thu nhận kết quả, bảo đảm tính nhất quán giữa mô phỏng và thí nghiệm.

Tính mới của thuật toán: Đề xuất quy trình tính toán tiêu hao nhiên liệu theo mô hình tĩnh học tích hợp trực tiếp dữ liệu vận tốc từ chu trình lái thực $V(t)$ để đưa vào mô phỏng với điều kiện biên ga-phanh và cơ chế chia chu trình

con, thay vì sử dụng chu trình chuẩn lý tưởng.

Ưu điểm: Thuật toán có cấu trúc rõ ràng, dễ triển khai, tận dụng dữ liệu thực nên phản ánh đúng điều kiện vận hành; khả năng kiểm chứng và hiệu chỉnh trực tiếp bằng thực nghiệm giúp tăng độ tin cậy. Thời gian tính toán nhanh, phù hợp cho mô phỏng và dự đoán tiêu hao nhiên liệu theo nhiều kịch bản.

Nhược điểm: Do dựa trên mô hình tĩnh học, thuật toán chưa xét đầy đủ các yếu tố động học. Kết quả phụ thuộc vào chất lượng dữ liệu đo và giả thiết ban đầu, do đó cần hiệu chỉnh khi áp dụng cho điều kiện khác.

2.6.2. Nội dung và trình tự thực hiện thuật toán.

a) Bước 1: Lập dữ liệu ban đầu

– Xây dựng kế hoạch thí nghiệm: Lộ trình thí nghiệm; khảo sát xác định điểm dừng nghỉ và những điểm có thể gây ra dừng nghỉ đột xuất. Chu trình xe chạy tại Việt Nam có những đặc điểm khác biệt so với các chu trình tiêu chuẩn trên thế giới, thể hiện qua loại đường, mật độ và tổ chức giao thông, điều kiện địa hình, mô hình phân bố dân cư cùng với văn hóa giao thông. Lộ trình xe chạy được xây dựng từ tập hợp các chu trình, bao gồm: Đường giao thông đô thị (nội đô và ngoại đô); đường liên tỉnh; đường cao tốc; đường nông thôn.

– Vận tốc xe chạy: Dự kiến vận tốc xe chạy tương ứng với từng đoạn đường, dự kiến vận tốc cực đại, thời gian chạy.

– Dữ liệu ban đầu được xây dựng nhằm mô phỏng chu trình xe chạy, tạo điều kiện biên ổn định cho quá trình mô phỏng và thí nghiệm. Hai thông số chính được lựa chọn gồm mức bàn đạp chân ga và lực đạp chân phanh:

Cảm biến đo mức bàn đạp chân ga được sử dụng cảm biến bướm ga hoạt động theo nguyên lý thay đổi điện trở góc.

Cảm biến đo lực đạp chân phanh được sử dụng loại cảm biến lực gắn trên mặt bàn đạp phanh hoạt động theo nguyên lý thay đổi điện trở mặt.

– Các điều kiện thí nghiệm được lựa chọn như sau:

Loại xe: Xe Toyota Vios 2009 đã qua sử dụng đã được chăm sóc bảo dưỡng ổn định: thay dầu máy, lọc dầu, thay dầu hộp số, xúc rửa hệ thống nhiên liệu, có mức tiêu hao nhiên liệu ổn định.

Loại nhiên liệu: Sử dụng nhiên liệu xăng A95 phổ biến tại thị trường Việt Nam.

Loại lớp xe: Lớp trên xe đúng thiết kế của nhà sản xuất.

Tài xế: Được chạy thí nghiệm để tạo kỹ năng quen đường, phương tiện và phương pháp chạy, có kinh nghiệm lái xe, sức khỏe tốt, tinh thần ổn định.

b) Bước 2: Thiết lập chuẩn bị các dữ liệu

– Các thông số đầu vào, đầu ra, thông số xe, thiết bị và điều kiện môi trường được cập nhật vào phần mềm dưới dạng các tệp dữ liệu riêng biệt, bao gồm: Tệp vận tốc xe theo thời gian; tệp khối lượng xe; tệp độ nhám mặt đường để xác định hệ số cản lăn; tệp thông tin về dốc đường, góc cua và các điểm dừng theo tín hiệu giao thông.

– Mỗi tệp dữ liệu bao gồm các file dữ liệu con $f(i)$, $i = 1, 2, 3, \dots, n$, trong đó i là số thứ tự file và n là số file cuối cùng. Các file dữ liệu con tương ứng với vận tốc, khối lượng, độ nhám, góc dốc, góc cua và số lần dừng đèn đỏ.

Trong mô phỏng, khối lượng xe được khảo sát tại 10 mức khác nhau, với mức tăng và giảm $\pm 10\%$ so với giá trị ban đầu. Trong đó, mức thứ 5 tương ứng với khối lượng nguyên bản của xe: $m_{55} = 1170$ kg.

c) Bước 3: Xác lập điều kiện biên

Chạy thử nghiệm 2–3 lần để xác định mức đạp bàn ga, lực đạp bàn đạp phanh. Thực hiện so sánh các lần chạy thử nghiệm ($< 8\%$) để đảm bảo chu trình lấy số liệu là ổn định.

d) Bước 4: Thiết lập trạng thái ban đầu (Start)

Khi điều kiện biên thỏa mãn, bắt đầu quá trình thí nghiệm lấy dữ liệu vận tốc thực $V(t)$, FC thực.

e) Bước 5: Thực hiện mô phỏng và thu nhận kết quả

Sử dụng dữ liệu vận tốc thực để đưa vào mô phỏng.

Tính toán tiêu hao nhiên liệu mô phỏng FC.

Thuật toán sẽ bắt đầu xác định vận tốc xe chạy theo thời gian thực trên lộ trình đường hỗn hợp có mỗi file kết quả thể hiện được điểm đầu và điểm cuối, không phân biệt đường đô thị hoặc đường cao tốc hoặc đường nông thôn.

Khối lượng nhiên liệu ban đầu được thiết lập làm giá trị chuẩn, đồng thời được hiển thị trên bộ đo và phần mềm ghi nhận dữ liệu.

Mỗi chu trình sẽ có một file kết quả, tập hợp kết quả các chu trình là kết quả của lộ trình xe chạy.

Mức tiêu thụ nhiên liệu của mỗi chu trình là hàm của các biến thời gian, vận tốc, khối lượng xe, mức độ đạp ga, lực đạp phanh, hệ số cản lăn, hệ số khí động học và góc dốc mặt đường, được biểu diễn bởi phương trình (2.20).

$$FC_{stat}^k = f(G, v, t, f_G, \alpha_i, W_d, n_{ga}, i_{ph}); \frac{L}{100 \text{ km}} \quad (2.20)$$

Trong đó: k : số thứ tự chu trình; G : khối lượng xe kg; v : vận tốc xe chạy (km/h); t : thời gian (s); f_G : hệ số cản lăn; α_i : góc dốc mặt đường (%); W_d : hệ số khí động học; n_{ga} : mức độ đạp ga (%); i_{ph} : số lần đạp phanh.

Tổng mức tiêu thụ nhiên liệu của lộ trình xe chạy được xác định bằng cách tổng hợp mức tiêu thụ của các chu trình, phương trình (2.21).

$$FC_{stat} = \sum_1^k FC_{stat}^k = \sum_1^k f(G, v, t, f_G, \alpha_i, W_d, n_{ga}, i_{ph}) \quad (2.21)$$

Quá trình giải phương trình (2.21) được thực hiện trên cơ sở mô hình không gian trạng thái, được biểu diễn bằng phương trình (2.22) [67].

$$\frac{d}{dt}x(t) = f(x(t), u(t)); x(t) \in R^n, u \in R^m, x(t) \in R^n, u(t) \in R^m \quad (2.22)$$

$x(t)$ thuộc không gian thực R có n chiều là biến trạng thái của chu trình xe chạy gồm: thời gian bắt đầu, kết thúc t_n , nhiệt độ môi trường T_n °C, độ ẩm φ_n , số lần dừng xe đèn đỏ s_n , số lần phanh p_n , phần trăm độ mở bướm ga o_n .

$u(t)$ thuộc không gian thực R có m chiều là biến điều khiển và tác động: $P_f(m)$ lực cản lăn trên đường, $P_i(m)$ lực cản dốc trên đường, $P_w(m)$ lực cản khí động học, $P_k(m)$ lực kéo tổng cộng, suất tiêu hao nhiên liệu riêng có ích $g_e(m)$, hiệu suất hệ thống truyền lực $\eta(m)$.

f) Bước 6: So sánh và đánh giá sai lệch

So sánh FC_{MP} và FC_{TN} ; nếu sai lệch $> 5-8\%$ → hiệu chỉnh và lặp lại mô phỏng; nếu đạt yêu cầu → chuyển bước tiếp theo.

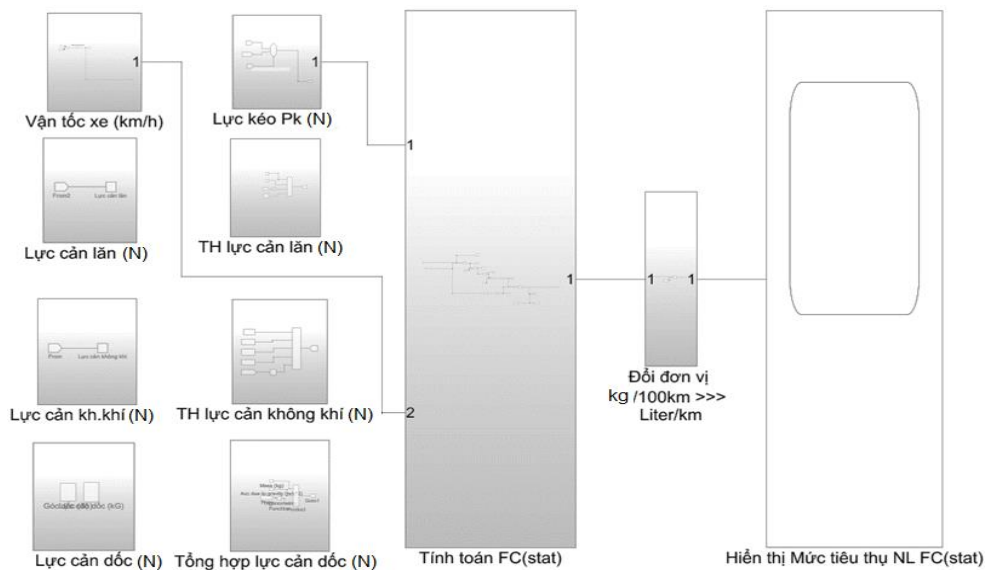
g) Bước 7: Tính toán tiêu thụ nhiên liệu tổng quãng đường

Xác định FC trung bình theo đơn vị (lít/100 km).

Tổng nhiên liệu tiêu thụ trên cả chu trình.

2.6.3. Mô phỏng xác định các thông số trên Simulink

Các biến trạng thái và biến điều khiển của thuật toán được biểu diễn trong môi trường Matlab/Simulink như trình bày trên hình 2.7.



Hình 2.7. Các biến thông số thuộc không gian thực R biểu diễn trong Matlab Simulink

Các biến thông số gồm: Vận tốc xe chạy (km/h); hệ số cản lăn; lực cản lăn (N), hệ số khí động học, lực cản khí động học (N), độ dốc (%), lực cản dốc (N), và lực kéo tiếp tuyến (N).

Chạy chương trình mô phỏng theo thời gian thực nhằm xác định mức tiêu thụ nhiên liệu tương ứng với các mức khối lượng xe khác nhau.

KẾT LUẬN CHƯƠNG 2

Chương 2 luận án đã xây dựng mô hình động lực học dọc của ô tô, trong đó xác định đầy đủ các thành phần lực tác dụng lên xe trong quá trình chuyển động gồm lực cản lăn, lực cản khí động học, lực cản quán tính và lực cản lên dốc. Hầu hết các lực cản đều chứa thông số khối lượng xe, qua đó khẳng định vai trò trung tâm của khối lượng trong phương trình cân bằng công suất và phương trình tính mức tiêu thụ nhiên liệu. Các thông số kỹ thuật của xe Toyota Vios 2009 được xác lập làm cơ sở dữ liệu đầu vào cho mô hình, với khối lượng tương đương $m = 1170$ kg là mức tham chiếu trong quá trình khảo sát.

Phân tích và đánh giá toàn diện ba mô hình tính mức tiêu thụ nhiên liệu gồm mô hình điểm hoạt động trung bình FC_{av} , mô hình động lực học FC_{dyn} và mô hình tĩnh học FC_{stat} . Mỗi mô hình có ưu điểm và nhược điểm riêng, phù hợp với những mục đích nghiên cứu khác nhau. Trên cơ sở phân tích so sánh, mô hình tĩnh học FC_{stat} được lựa chọn là mô hình chính của luận án do dễ xây dựng và triển khai thực nghiệm; các thông số đầu vào có thể đo trực tiếp; phù hợp để đánh giá tác động riêng của khối lượng xe; không đòi hỏi phần mềm thương mại đắt tiền; và có khả năng tích hợp với thiết bị đo chế tạo thực tế.

Xây dựng và trình bày bốn phương pháp tính mức tiêu thụ nhiên liệu gồm phương pháp cân bằng cacbon, phương pháp xấp xỉ, phương pháp tính đại số và phương pháp mô phỏng số. Trong đó phương pháp mô phỏng số thực hiện trên nền tảng phần mềm Matlab/Simulink và phương pháp tính đại số được sử dụng phối hợp nhằm nâng cao độ tin cậy của kết quả nghiên cứu.

Thuật toán FC_{stat} được xây dựng với quy trình ba bước: lập dữ liệu ban đầu, thiết lập và chuẩn bị dữ liệu, thực hiện mô phỏng và tiến hành thực nghiệm để nhận kết quả. Mức tiêu thụ nhiên liệu của từng chu trình được biểu diễn dưới dạng hàm số tổng quát, tích hợp đồng thời các biến số gồm khối lượng xe, vận tốc, thời gian, hệ số cản lăn, độ dốc mặt đường và các thông số vận hành khác. Chương trình mô phỏng được triển khai trên Matlab/Simulink với 10 mức khối lượng xe khác nhau, trong đó mức tham chiếu là $m = 1170$ kg, các mức còn lại thay đổi tăng và giảm 10% so với mức liền kề, cho phép đánh giá định lượng ảnh hưởng của khối lượng đến mức tiêu thụ nhiên liệu một cách có hệ thống.

Các cơ sở khoa học được xây dựng trong chương 2 đã tạo nền tảng lý thuyết và phương pháp luận cho các nghiên cứu tiếp theo của luận án. Mô hình FC_{stat} cùng thuật toán và chương trình mô phỏng Matlab/Simulink đã được thiết lập đầy đủ, sẵn sàng cho việc tính toán, mô phỏng và đối chiếu với kết quả thực nghiệm ở các chương sau.

CHƯƠNG 3: PHÂN TÍCH ẢNH HƯỞNG CỦA KHỐI LƯỢNG ĐẾN MỨC TIÊU THỤ NHIÊN LIỆU TRÊN Ô TÔ

Trên cơ sở mô hình động lực học đã được xây dựng ở Chương 2, tiến hành xây dựng mô hình mô phỏng mức tiêu thụ nhiên liệu của ô tô nhằm đánh giá ảnh hưởng của khối lượng xe trong các chế độ vận hành khác nhau.

3.1. NHỮNG GIẢ THIẾT CHÍNH

Động cơ tiêu thụ nhiên liệu và chuyển hóa năng lượng thành cơ năng để xe di chuyển. Có nhiều yếu tố khác nhau ảnh hưởng đến tiêu thụ nhiên liệu trên ô tô nên NCS sử dụng những giả thiết trong nghiên cứu gồm:

- Xe khảo sát là xe con 5 chỗ đã qua sử dụng nhằm tránh tác động kỹ thuật từ nhà sản xuất và xe đã có quá trình hoạt động ổn định;

- Động cơ trên xe khảo sát là động cơ xăng (đánh lửa cưỡng bức – SI);

- Loại nhiên liệu xăng được sử dụng là loại tiêu chuẩn, không bị thay đổi các thông số chỉ tiêu do ảnh hưởng của các yếu tố khách quan;

- Năng lượng nhiên liệu sử dụng để khắc phục hoàn toàn các lực cản: (1) lực cản lăn, (2) lực cản khí động học, (3) lực cản quán tính, và (4) lực cản dốc.

- Ngoài ra còn các giả thiết trong mô phỏng tính toán FC: Khối lượng giảm đi thì không ảnh hưởng tới tính năng động lực học phanh – treo – lái – tăng tốc của ô tô; bỏ qua ảnh hưởng của lực nâng khí động học; bỏ qua ảnh hưởng của sự phân bố lại khối lượng hay độ bền kết cấu ô tô khi thay đổi vật liệu.

- Khối lượng xe không giảm trong quá trình hoạt động. Khối lượng xăng tiêu hao do đốt cháy nhiên liệu nhỏ hơn rất nhiều so với khối lượng tổng thể của xe, nên khối lượng tiêu hao này không xét vào khối lượng thay đổi trong quá trình chuyển động của xe.

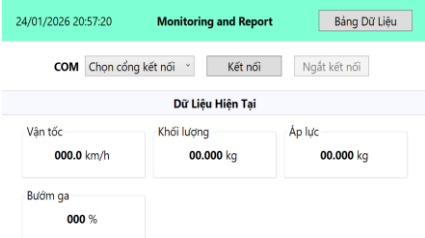
- Bỏ qua ảnh hưởng của điều hòa không khí đến tiêu thụ nhiên liệu, và

điều này cũng được đánh giá qua việc chạy thí nghiệm không bật điều hòa.

3.2. XÁC ĐỊNH CÁC DỮ LIỆU TRONG KHÔNG GIAN N CHIỀU

3.2.1. Thu thập dữ liệu theo thời gian thực

Sử dụng lập trình theo phép đo thực tế để chuẩn đầu đo (calibration) của quá trình thu thập dữ liệu ban đầu trong thuật toán và ghi dữ liệu dạng bảng Excel.xlsx, trên hình 3.1.



Thời gian	Vận tốc (km/h)	Áp lực (kg)	Khối lượng (kg)	Bướm ga (%)
2024-04-07 05:37:25.016	5.9	0	11.668	16
2024-04-07 05:37:25.887	5.9	0	11.668	16
2024-04-07 05:37:25.940	8.2	0	11.505	12
2024-04-07 05:37:26.803	8.2	0	11.505	12
2024-04-07 05:37:26.866	10	0	11.319	16
2024-04-07 05:37:27.720	10	0	11.319	16

Hình 3.1. Dạng bảng kết quả File dữ liệu theo thời gian thực

Các đơn vị đo gồm (km/h) đối với vận tốc xe chạy, kg đối với áp lực bàn đạp phanh, kg đối với khối lượng nhiên liệu cần đo, (%) đối với độ mở bướm ga thông qua bàn đạp chân ga.

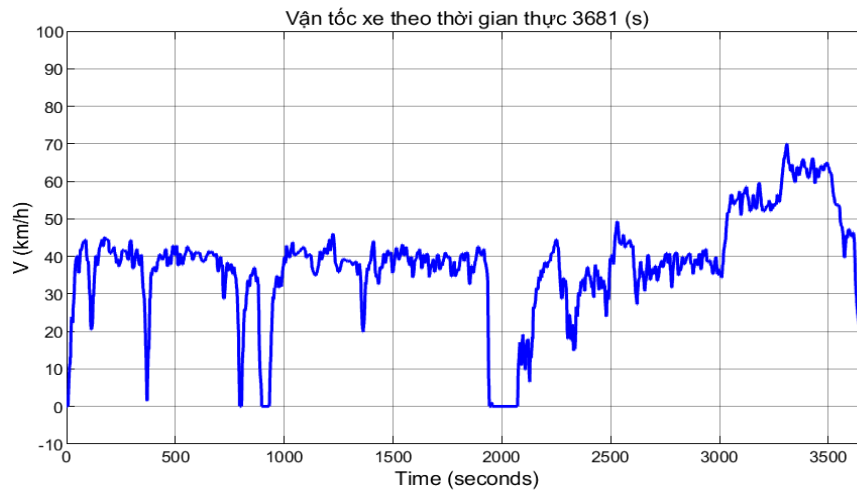
Dạng file vận tốc xe chạy thực tế thu thập và được chuyển sang Excel.csv (Comma delimited) trong mô phỏng.

3.2.2. Vận tốc xe theo thời gian thực

Dữ liệu vận tốc xe chạy theo thời gian thực khi làm thí nghiệm thực tế trên đường được sử dụng làm số liệu đầu vào vận tốc trong mô phỏng và trùng với chu trình thí nghiệm nhằm kiểm chứng hai mô hình lý thuyết và thí nghiệm. Các giá trị cụ thể của vận tốc xe chạy được trình bày trong Phụ lục.

Vận tốc xe chạy theo thời gian thực trong một chu trình sẽ có ảnh hưởng bởi nhiễu ở tần số thấp như dao động ô tô, dao động của môi trường xung quanh, tiếng ồn, máy đo, thùng nhiên liệu.... Sử dụng biến đổi Fourier từ miền thời gian sang miền tần số lọc nhiễu loại bỏ các thành phần tần số thấp trong miền tần số và biến đổi ngược lại về miền thời gian ta nhận được kết quả vận

tốc xe chạy như đồ thị hình 3.2.



Hình 3.2. Đồ thị vận tốc xe chạy theo thời gian thực

Các bước lọc nhiễu gồm:

Tín hiệu từ miền thời gian chuyển sang miền tần số tính theo phương trình (3.1).

$$X(f) = FFT(x(t)) \quad (3.1)$$

Tín hiệu trở lại miền thời gian tính theo phương trình (3.2).

$$x_{\text{filtered}}(t) = IFFT(X_{\text{filtered}}(f)) \quad x_{\text{filtered}}(t) = IFFT(X_{\text{filtered}}(t)) \quad (3.2)$$

Và được ứng dụng phần mềm Matlab để lọc FFT và IFFT.

3.2.3. Kiểm soát điều kiện dữ liệu ổn định

Độ ổn định của dữ liệu được hiểu là mức độ sai khác của một thông số kỹ thuật trong các lần vận hành xe khác nhau. Khi sai khác này càng nhỏ thì dữ liệu càng ổn định, và ngược lại.

Các thông số phản ánh kỹ năng của người lái xe thường có độ biến động cao, đặc biệt là lực đạp phanh và phần trăm độ mở bướm ga. Do việc đánh giá kinh nghiệm lái xe bằng cảm quan khó thống nhất, nghiên cứu sinh đề xuất phương pháp sử dụng dữ liệu kỹ thuật được đo từ cùng một xe chạy trên chu trình thử tiêu chuẩn, đảm bảo các điều kiện vận hành tương tự nhau (như đèn giao thông, mật độ phương tiện, đường cong, độ dốc, trạm dừng...).

Trong quá trình thử nghiệm, lực đạp phanh được ghi nhận bằng cảm biến

lực, các đỉnh xung trên đồ thị thể hiện các lần đạp phanh. Tương tự, mức độ đạp chân ga được xác định gần đúng thông qua phần trăm độ mở bướm ga, đo bằng cảm biến tương ứng.

Hai thông số lực đạp phanh và tỷ lệ mở bướm ga được chọn làm các chỉ tiêu đánh giá độ ổn định và kỹ năng của người lái xe.

3.3. XÁC ĐỊNH CÁC DỮ LIỆU TRONG KHÔNG GIAN M CHIỀU

3.3.1. Dữ liệu lực cản lăn trên đường

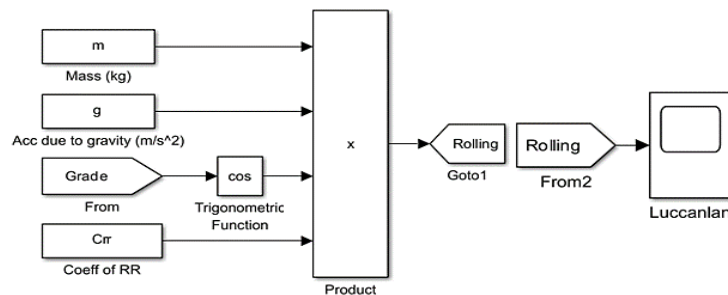
Khi đi trên đường, lực cản chuyển động của xe thay đổi, trong đó lực cản lăn liên tục thay đổi trong khoảng từ 10 đến 70%, trung bình 20% trên đường cao tốc, 25% đường ngoài đô thị, 30% đường trong đô thị. Lực cản lăn bị ảnh hưởng bởi áp suất lốp, tăng khi áp suất lốp giảm dưới áp suất yêu cầu. Đối với lốp xe tải, lực cản lăn tăng khoảng 5 đến 8% khi áp suất giảm 20% làm giảm 2 đến 3% khả năng tiết kiệm nhiên liệu trên xe tải [68].

Lực cản lăn phụ thuộc vào khối lượng xe, vận tốc xe chạy, hình dạng của lốp khi tiếp xúc với mặt đường. Theo hướng chuyển động của xe x , lực cản lăn được xác định theo phương trình (3.3).

$$P_r = C_{rr} m_i g; \quad N \quad (3.3)$$

C_{rr} : hệ số cản lăn, m_i : khối lượng xe, g : gia tốc trọng trường.

Hệ số cản lăn $C_{rr_x} = 0,01-0,02$ theo phương chuyển động x , phụ thuộc vào áp suất lốp, loại lốp, tải trọng, vận tốc xe và loại đường. Sử dụng các khối trong Simulink để xác định lực cản lăn, hình 3.3.



Hình 3.3. Sơ đồ khối Simulink xác định lực cản lăn

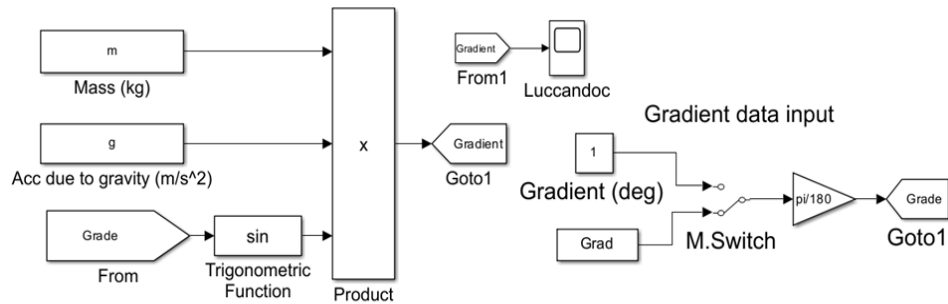
3.3.2. Dữ liệu lực cản dốc trên đường

Lực cản dốc phụ thuộc vào khối lượng xe, độ dốc mặt đường α . Theo hướng chuyển động của xe x , lực cản dốc được tính theo phương trình (3.4).

$$P_i = m_i g \sin \alpha; \quad N \quad (3.4)$$

α : góc dốc mặt đường, m_i : khối lượng xe, g : gia tốc trọng trường

Sử dụng các khối trong Simulink để xác định lực cản dốc, hình 3.4



Hình 3.4. Sơ đồ khối Simulink xác định lực cản dốc

3.3.3. Dữ liệu lực cản khí động học

Ảnh hưởng của lực cản khí động học xe được thể hiện bằng quan hệ của lượng tiêu thụ nhiên liệu (S_G) theo đơn vị thời gian và hệ số cản khí động học biểu diễn ở phương trình (3.5)

$$S_G = \frac{1}{1000} (g_e k_1 k_2) \frac{C_w A}{1,225} v^3; \quad \frac{\text{kg}}{\text{h}} \quad (3.5)$$

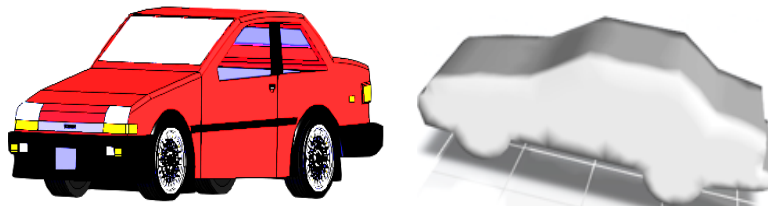
S_G (kg/h): Lượng tiêu thụ nhiên liệu trong 1 giờ tại mức công suất P_e (HP) của động cơ; g_e (g/kWh): suất tiêu hao nhiên liệu riêng có ích ở 85% công suất cực đại; $k_1 = 1,0-1,3$: hệ số điều chỉnh suất tiêu hao nhiên liệu theo các mức công suất khác nhau; $k_2 = 1,0-1,05$: hệ số điều chỉnh lượng tiêu hao nhiên liệu theo thời gian hoạt động của động cơ [69].

Lực cản khí động học của xe tỷ lệ với bình phương vận tốc chuyển động, phụ thuộc chính vào hình dáng xe. Theo hướng chuyển động của xe X , lực cản khí động học được xác định theo phương trình (3.6).

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A_f C_d v^2; \quad N \quad (3.6)$$

ρ : mật độ không khí (kg/m^3) xác định theo tiêu chuẩn; v : vận tốc xe chạy xác định theo vận tốc thực xe chạy trong chu trình thí nghiệm (km/h); A_f : diện tích cản chính diện (m^2) được đo thực tế; C_d : hệ số khí động học xác định bằng mô phỏng trên mô hình thiết kế 3D của xe trong phần mềm thiết kế SolidWorks, hình 3.5(a) và 3.5(b).

Sử dụng phần mềm Ansys Workbench phiên bản Student được cấp phép, luận án đã mô phỏng và phân tích CFD trên mô hình 3D.



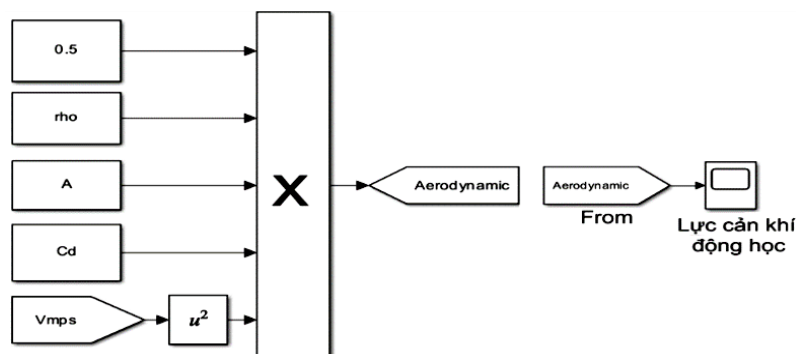
a) Xe khảo sát Toyota Vios

b) Mô hình hóa xe

Hình 3.5. Phân tích CFD trên xe Toyota Vios 2009 xác định hệ số C_d

Giá trị $C_d = 0,29$ thu được từ kết quả mô phỏng CFD, cùng với diện tích cản chính diện $A_f = 1,8585 \text{ m}^2$ được xác định từ mô hình 3D. Ngoài ra, theo các nghiên cứu CFD và thực nghiệm trong hầm gió, hệ số cản khí động của xe sedan notchback thường nằm trong khoảng $C_d = 0,28-0,32$ [70]. Trên cơ sở đó, giá trị $C_d = 0,29$ được lựa chọn cho xe Toyota Vios 2009 được sử dụng làm thông số đầu vào cho mô hình Simulink tính toán lực cản không khí và mô phỏng mức tiêu thụ nhiên liệu.

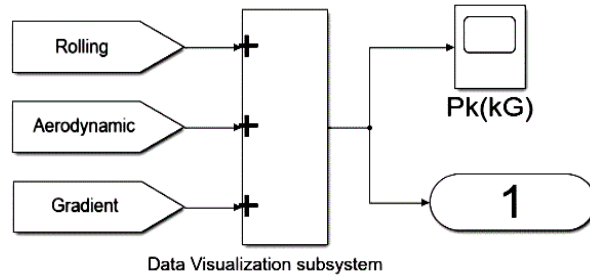
Sơ đồ Simulink phân tích lực cản không khí, hình 3.6.



Hình 3.6. Sơ đồ khối Simulink xác định lực cản khí động học

3.3.4. Dữ liệu lực kéo tổng cộng

Từ phương trình cân bằng lực kéo trên ô tô, lực kéo tổng cộng bằng tổng các lực cản chuyển động: lực cản lăn, cản dốc và cản không khí. Sử dụng các khối trong Simulink để xác định lực kéo P_k , hình 3.7.



Hình 3.7. Sơ đồ khối Simulink xác định lực kéo tổng cộng

Lực cản quán tính trong quá trình xe chuyển động rất phức tạp và để đơn giản hóa trong mô phỏng NCS giả thiết trong khảo sát xe chạy ổn định không có gia tốc trong từng giai đoạn, thời gian tăng tốc và giảm tốc gần như nhau. Lái xe ổn định, chạy thử nghiệm nhiều lần và được đánh giá bằng lực đạp phanh và độ mở bướm ga nên bỏ qua lực cản quán tính trong quá trình chuyển động của xe. Đây là một giả thiết trong mô phỏng của bài toán tính toán FC.

3.3.5. Dữ liệu suất tiêu hao nhiên liệu riêng có ích

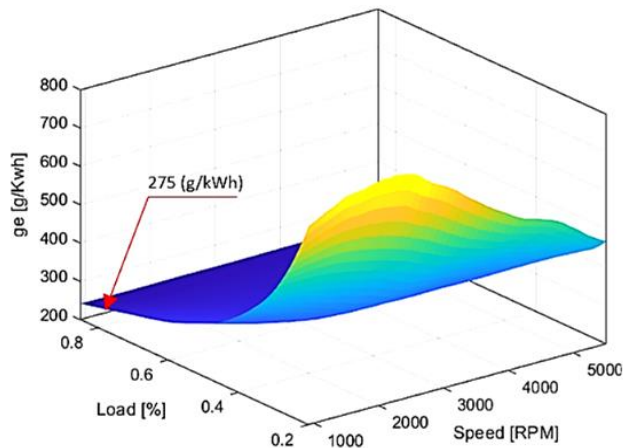
Suất tiêu hao nhiên liệu riêng g_e được tính ở 85% công suất cực đại của động cơ ($N_e = 85\% N_{e_{max}}$) tính bởi phương trình (3.7).

$$g_e = \frac{m_f}{P_e}; \quad \frac{\text{kg}}{\text{kWh}} \quad (3.7)$$

g_e phụ thuộc vào loại động cơ, điều kiện vận hành và loại nhiên liệu.

Ứng dụng mô đun “*Fit Smooth Surfaces to Investigate Fuel Efficiency*” trong Matlab/Simulink cho các thông số của động cơ xe Toyota Vios 2009 để chạy chương trình matlab.m nhận được kết quả đồ thị g_e (kg/kWh), hình 3.8. Trong mô hình mô phỏng, suất tiêu hao nhiên liệu riêng g_e được xác định tại chế độ làm việc đại diện của động cơ, tương ứng khoảng 85% công suất cực

đại.



Hình 3.8. Kết quả mô phỏng Matlab suất tiêu hao nhiên liệu riêng có ích g_e

Thực tế động cơ chỉ làm việc ở chế độ tải lớn nhất tương ứng với 80–85% công suất cực đại của động cơ nhằm đảm bảo độ bền cho động cơ. Đây là vùng làm việc ổn định, thường gặp trong quá trình vận hành khi động cơ phải thắng các lực cản chuyển động.

Động cơ Vios 2009 lấy trung bình = 275 g/kWh = 0,275 kg/kWh. Việc lựa chọn giá trị g_e này nhằm đơn giản hóa mô hình tính toán, đồng thời vẫn bảo đảm tính hợp lý và khả năng so sánh của kết quả.

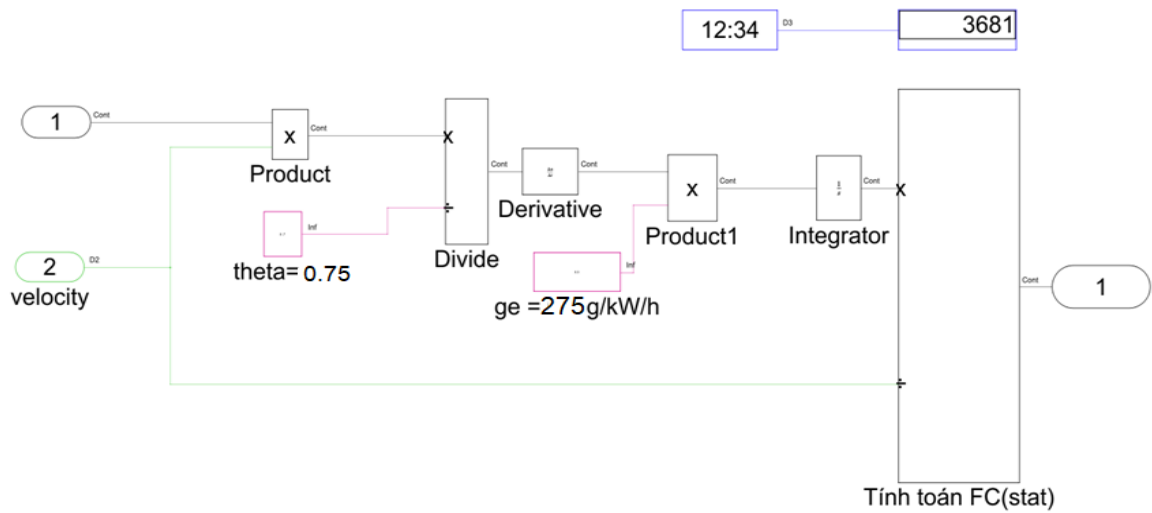
3.3.6. Dữ liệu hiệu suất hệ thống truyền lực

Trên xe khảo sát có hệ thống truyền lực thường, ly hợp một đĩa ma sát khô, hiệu suất trung bình thường 0,7–0,8. Trong mô phỏng có thể lấy giá trị trung bình hiệu suất bằng 0,75.

3.4. MÔ PHỎNG QUAN HỆ CỦA KHỐI LƯỢNG XE ĐẾN CÁC LỰC CẢN CHUYỂN ĐỘNG VÀ MỨC TIÊU THỤ NHIÊN LIỆU

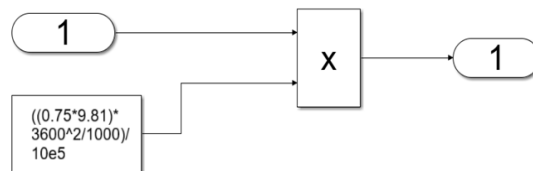
Mức tiêu thụ nhiên liệu trong một chu trình xe chạy trong mô phỏng lấy theo thời gian thực bằng 3681 (s) ~ 1,02h * 5 chu trình (tham khảo chu trình Hoa Kỳ, châu Âu và Nhật Bản – lấy 5 chu trình) = lộ trình ~ 171 km.

Sơ đồ Simulink mô phỏng nêu trên sơ đồ hình 3.9.



Hình 3.9. Sơ đồ khối Simulink tính toán FC của lộ trình xe chạy

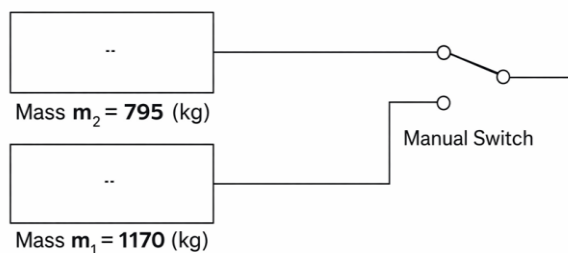
Tính toán giá trị FC_{stat} theo đơn vị kg/km, quy đổi sang đơn vị lít/100 km với: Tỷ trọng nhiên liệu xăng bằng 0,755 kg/lít; gia tốc trọng trường bằng 9,81 m/s² ta có hệ số quy đổi bằng: $((0,755/9,81)*3600^2/1000)/10e5$ cập nhật vào khối Simulink theo hình 3.10 và sử dụng khối scope hiển thị kết quả giá trị FC_{stat} theo đơn vị lít/100 km.



Hình 3.10. Sơ đồ khối Simulink quy đổi đơn vị và hiển thị kết quả

Sử dụng tính toán cho hai giá trị khối lượng xe như hình 3.11 với:

- Khối lượng xe nguyên bản, $m_1 = 1170$ kg.
- Khối lượng xe nhẹ hơn, $m_2 = 795$ kg.



Hình 3.11. Sơ đồ khối Simulink hai khối lượng xe

So sánh trên đồ thị để phân tích kết quả mô phỏng ảnh hưởng của khối lượng đến FC_{stat} của xe.

Nhận xét:

Khối lượng của xe có ảnh hưởng quan trọng đến mức tiêu thụ nhiên liệu, từ đó tác động đến chi phí vận hành và phát thải khí nhà kính. Việc làm rõ ảnh hưởng của khối lượng xe đến mức tiêu thụ nhiên liệu hỗ trợ các nhà sản xuất và người sử dụng trong quá trình ra quyết định.

Những ảnh hưởng cụ thể được tóm tắt gồm: Ảnh hưởng đến lực cản, trong đó lực cản lăn, lực cản không khí và lực cản dốc là ba yếu tố chính. Lực cản lăn tỷ lệ thuận với khối lượng xe, trong khi lực cản không khí chủ yếu phụ thuộc vào hình dạng và tốc độ xe, còn lực cản dốc phụ thuộc vào khối lượng xe và độ dốc mặt đường.

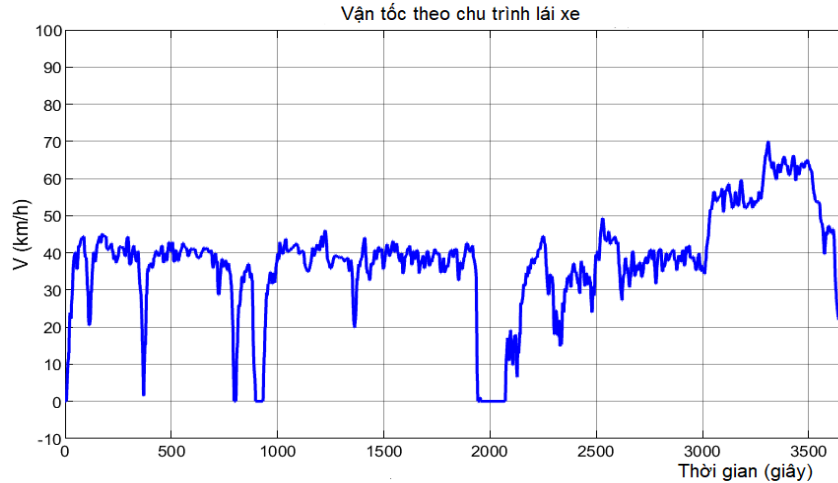
Việc giảm khối lượng xe có thể là một giải pháp hiệu quả để tiết kiệm nhiên liệu và giảm khí thải độc hại. Các biện pháp đề xuất: sử dụng vật liệu nhẹ hơn, tối ưu hóa thiết kế xe có thể giúp đạt được mục tiêu này.

3.5. PHÂN TÍCH KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

3.5.1. Chu trình lái xe

Trong chu trình lái xe, ngoài những giả thiết chính sẽ bổ sung những giả thiết:

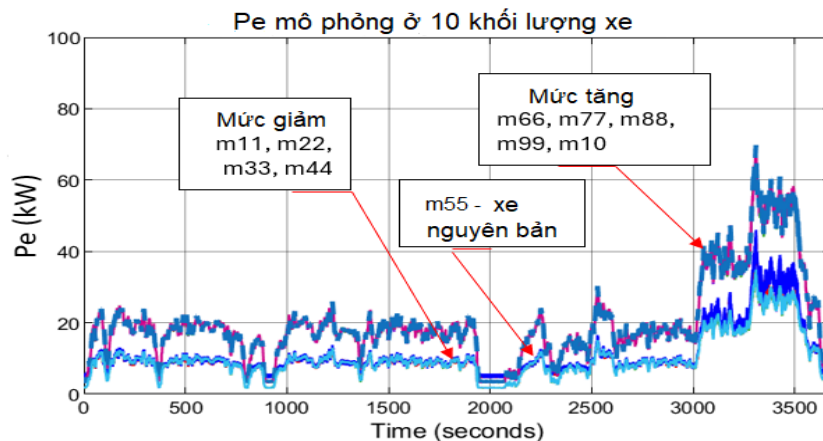
- Thời gian mô phỏng bằng đúng thời gian thực xe chạy, bằng 3681 (s).
- Người lái xe có kỹ năng tốt đảm bảo giảm tốc và tăng tốc đúng thời điểm của chu trình.
- Vận tốc xe chạy trong mô phỏng: khi chạy thí nghiệm các dữ liệu được phần mềm Kisster thu thập lại trong đó có vận tốc xe. Sau khi kết thúc thí nghiệm tiến hành xuất các dữ liệu thành file Excel và lấy file dữ liệu này đưa vào mô phỏng thì được đồ thị vận tốc xe theo thời gian thực, đó là đồ thị vận tốc theo chu trình lái xe thể hiện trên hình 3.12.



Hình 3.12. Đồ thị chu trình lái xe đến giây 3681

3.5.2. Công suất tiêu thụ của động cơ

Khảo sát công suất tiêu thụ của động cơ trong quá trình xe chạy để đánh giá hiệu suất của xe, từ đó đưa ra những giải pháp cải thiện hiệu suất nhiên liệu theo hướng giảm thiểu phát thải. Công suất động cơ là đại lượng đo lường lượng năng lượng mà động cơ có thể sinh ra trong một đơn vị thời gian, nó chịu ảnh hưởng của các yếu tố như khối lượng xe và các lực cản chuyển động. Khối lượng xe được xác định bởi các thành phần: Khối lượng không tải 940 kg; Dung tích thùng nhiên liệu 45 lít x $1/3 = 15$ lít x $0,7 = 11$ kg; 2 bình cứu hỏa = 18 kg; Lái xe = 75 kg; Kỹ thuật viên = 74 kg; Phụ kiện theo xe = 22 kg; Cân + giá cân + nhiên liệu trong bình chứa = 30 kg. Tổng cộng khối lượng xe đầy tải 1170 kg. Kết quả khảo sát công suất tiêu thụ của động cơ trình bày trên hình 3.13.



Hình 3.13. Đồ thị công suất tiêu thụ của động cơ ở các khối lượng khác nhau

m11: khối lượng xe 702 kg; m22: khối lượng xe 819 kg; m33: khối lượng xe 936 kg; m44: khối lượng xe 1053 kg; m55: khối lượng xe 1170 kg; m66: khối lượng xe 1287 kg; m77: khối lượng xe 1404 kg; m88: khối lượng xe 1521 kg; m99: khối lượng xe 1638 kg; m10: khối lượng xe 1755 kg.

Sử dụng công cụ Display trong Simulnk đọc giá trị trung bình của mức chênh lệch về công suất tiêu thụ của động cơ trong quá trình khảo sát tương ứng nhận được mức chênh lệch tỷ lệ tăng hoặc giảm của khối lượng xe, bảng 3.1. Trong bảng a là các giá trị công suất tiêu thụ trung bình của động cơ theo mức giảm khối lượng và bảng b theo mức tăng khối lượng.

Bảng 3.1. Công suất tiêu thụ trung bình của động cơ P_e (kW)

a) Theo mức giảm khối lượng					
Ký hiệu	m11	m22	m33	m44	m55
Khối lượng kg	702	819	936	1053	1170
Tỷ lệ giảm so với khối lượng cơ sở m55 (%)	40	30	20	10	00
Công suất tiêu thụ của động cơ P_e (kW)	11,36	13,15	14,26	18,62	21,58
Mức chênh lệch do giảm khối lượng (%)	47,36	39,06	33,92	13,72	0
b) Theo mức tăng khối lượng					
Ký hiệu	m66	m77	m88	m99	m10
Khối lượng kg	1287	1404	1521	1638	1755
Tỷ lệ tăng so với khối lượng cơ sở m55 (%)	10	20	30	40	50
Công suất tiêu thụ của động cơ P_e (kW)	21,86	23,88	28,55	29,16	33,92
Mức chênh lệch do tăng khối lượng (%)	1,30	10,66	32,30	35,13	57,18

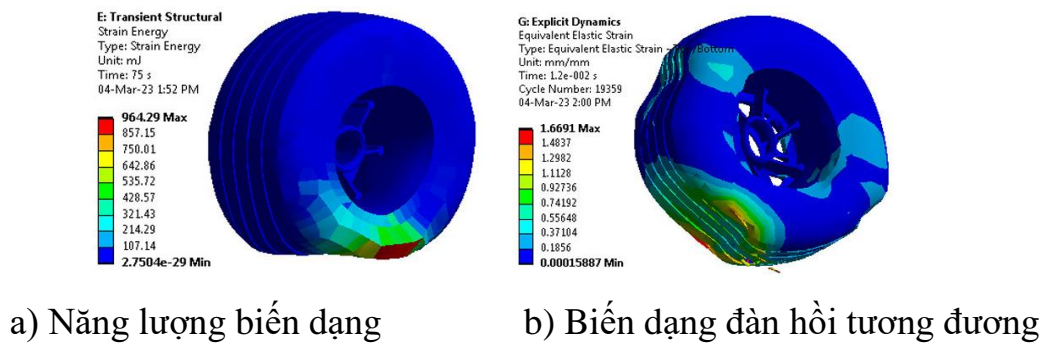
3.5.3. Lực cản lăn

3.5.3.1. Phân tích đặc tính lốp xe ảnh hưởng đến hệ số cản lăn

Lực cản lăn là năng lượng tiêu thụ dưới dạng nhiệt do lốp bị biến dạng trên một đơn vị quãng đường xe di chuyển. Năng lượng này phụ thuộc vào đặc tính nhớt đàn hồi của vật liệu chế tạo lốp và tạo ra một lực cản chuyển động

quay của lốp. Hệ số cản lăn có giá trị không đổi trong những khoảng vận tốc hoặc khối lượng xe nhất định.

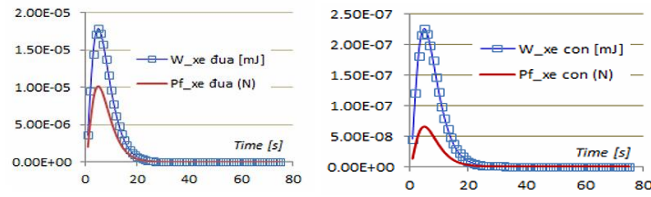
Từ kết quả mô phỏng của NCS bằng ANSYS Workbench, thể hiện trên hình 3.14, có thể nhận thấy đặc tính kết cấu và vật liệu của lốp xe ảnh hưởng trực tiếp đến hệ số cản lăn thông qua mức độ biến dạng của vùng tiếp xúc giữa lốp và mặt đường.



Hình 3.14. Hình ảnh biến dạng trong mô phỏng

Kết quả cho thấy biến dạng tập trung chủ yếu tại phần hông lốp và lớp gai tiếp xúc, đây là khu vực phát sinh tổn hao năng lượng lớn trong chu kỳ lăn do hiệu ứng trễ đàn hồi của vật liệu cao su. Khi độ cứng hướng kính của lốp giảm hoặc tải trọng tác dụng tăng, biên độ biến dạng tại vùng tiếp xúc tăng rõ rệt, dẫn đến sự gia tăng lực cản lăn. Kết quả nghiên cứu phù hợp với nhận định của [51] về vai trò của biến dạng tuần hoàn của lớp bố lốp và gai lốp đối với tổn thất lăn, đồng thời tương đồng với cơ sở lý thuyết trong Tyre and Vehicle Dynamics [50] về mối quan hệ giữa biến dạng lốp và hệ số cản lăn. Ngoài ra, kết quả mô phỏng cũng cho thấy khi áp suất lốp giảm, diện tích tiếp xúc tăng, phân bố ứng suất trở nên kém đồng đều hơn, làm tăng biến dạng cục bộ và kéo theo sự gia tăng hệ số cản lăn, phù hợp với kết quả thực nghiệm của Pillai (2004) [46].

Bên cạnh đó, kết quả so sánh tại hình 3.15 cho thấy lốp xe con có lực cản lăn và tổn thất năng lượng biến dạng nhỏ hơn so với lốp xe đua, phản ánh mức độ biến dạng tuần hoàn nhỏ hơn trong quá trình lăn.



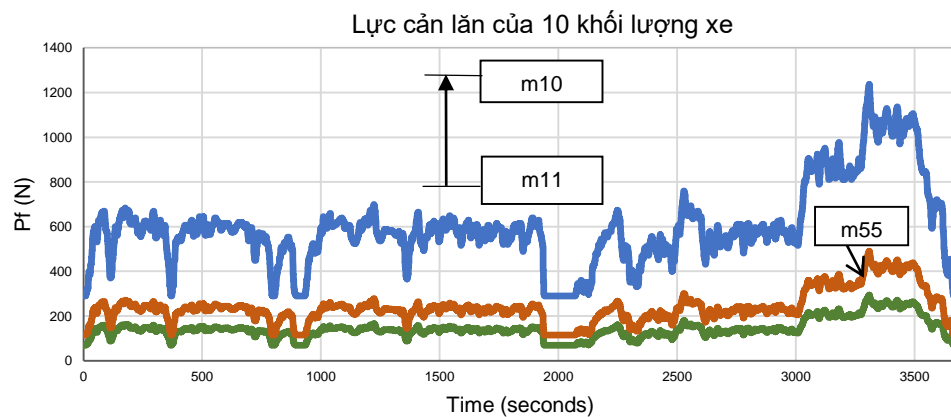
Hình 3.15. Năng lượng biến dạng và lực cản lăn của lớp xe

Kết quả này cho thấy trong điều kiện mô phỏng của nghiên cứu, lớp xe con có khả năng hạn chế tổn hao năng lượng tốt hơn, từ đó góp phần giảm lực cản chuyển động và nâng cao hiệu quả sử dụng nhiên liệu. Ngược lại, lớp xe đua xuất hiện giá trị lực cản lăn và tổn thất năng lượng lớn hơn, có thể do đặc tính kết cấu lớp được thiết kế theo hướng ưu tiên độ bám đường và khả năng chịu tải động lớn, dẫn đến mức biến dạng cục bộ và tổn hao năng lượng tăng lên.

Như vậy, kết quả mô phỏng đã khẳng định rằng đặc tính kết cấu lớp là một trong những yếu tố quan trọng quyết định lực cản lăn và mức tiêu hao năng lượng trong quá trình chuyển động của ô tô, đồng thời là cơ sở khoa học để NCS phân tích lực cản lăn đến mức tiêu thụ nhiên liệu trên ô tô 5 chỗ.

3.5.3.2. Mô phỏng lực cản lăn

Trên hình 3.16, thể hiện lực cản lăn tức thời $P_f(t)$ theo thời gian, khảo sát từ khối lượng m11–m10, với m55 = 1170 kg là khối lượng xe nguyên bản, nhằm làm rõ quy luật biến thiên của đại lượng này trong suốt chu kỳ mô phỏng.



Hình 3.16. Đồ thị lực cản lăn ở khối lượng xe khác nhau
m11: khối lượng xe 702 kg; m10: khối lượng xe 1755 kg

Có thể nhận thấy lực cản lăn biến thiên không đều theo thời gian, xuất hiện các đỉnh cục bộ tương ứng với các giai đoạn thay đổi điều kiện chuyển động cụ thể là vận tốc tăng trên đường cao tốc. Đặc biệt, tại vùng thời gian từ khoảng 3000 s đến 3500 s, giá trị P_f tăng mạnh, phản ánh sự gia tăng rõ rệt của lực cản lăn khi vận tốc tăng. Trên đồ thị lực cản lăn thay đổi giá trị theo thời gian đã tạo ra đường phi tuyến tính của cả quá trình xe chạy cho thấy phản ánh đúng thực tế sự thay đổi của lực cản lăn theo đồ thị vận tốc là dữ liệu đầu vào của mô phỏng.

Bảng 3.2 trình bày giá trị lực cản lăn đặc trưng của 10 mức khối lượng khảo sát, được xác định theo giá trị trung bình trên toàn chu kỳ mô phỏng. Trong bảng a: giá trị trung bình của lực cản lăn theo mức giảm khối lượng và bảng b theo mức tăng khối lượng.

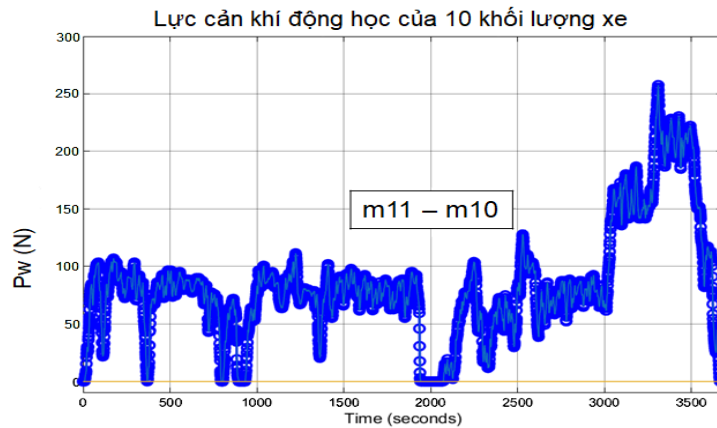
Bảng 3.2. Lực cản lăn trung bình $P_f(N)$

a) Theo mức giảm khối lượng					
Ký hiệu	m11	m22	m33	m44	m55
Lực cản lăn P_f (N)	134,7	166,5	188,3	211,2	225,3
Mức chênh lệch do giảm khối lượng (%)	40,21	26,1	16,42	6,26	0
b) Theo mức tăng khối lượng					
Ký hiệu	m66	m77	m88	m99	m10
Lực cản lăn P_f (N)	261,4	314,6	460,4	595,3	708,7
Mức chênh lệch do tăng khối lượng (%)	16,02	39,64	104,3	164,2	214,6

Kết quả trong bảng cho thấy lực cản lăn tỷ lệ thuận với tải trọng tác dụng lên lớp. Cụ thể, khi khối lượng tăng từ trường hợp chuẩn m55 lên m10, lực cản lăn tăng từ 225,3 N lên 708,7 N, tương ứng mức tăng 214,6%; ngược lại, khi giảm khối lượng xuống m11, lực cản lăn giảm còn 134,7 N, thấp hơn 40,21% so với trường hợp chuẩn. Xu hướng này hoàn toàn phù hợp với cơ sở lý thuyết về lực cản lăn, tải trọng càng tăng cao thì biến dạng của lớp càng lớn làm tăng mạnh lực cản lăn, đặc biệt là ở khối lượng lớn – vượt tải: m88, m99, m10.

3.5.4. Lực cản khí động học

Khảo sát lực cản khí động học trong quá trình xe chạy cho thấy sự phụ thuộc của nó vào hình dáng và vận tốc xe chạy. Do hình dáng xe không thay đổi trong tất cả các trường hợp thay đổi khối lượng nên không có sự thay đổi biên độ theo thời gian thực, hình 3.17.



Hình 3.17. Đồ thị lực cản khí động học ở các khối lượng xe khác nhau

m11: khối lượng xe 702 kg; m10: khối lượng xe 1755 kg.

Giá trị trung bình cụ thể của mức chênh lệch về lực cản khí động học tương ứng với mức chênh lệch tỷ lệ tăng hoặc giảm của khối lượng xe, bảng 3.3. Trong bảng a là các giá trị trung bình của lực cản khí động học theo mức giảm khối lượng và bảng b theo mức tăng khối lượng.

Bảng 3.3. Lực cản khí động học trung bình P_w (N)

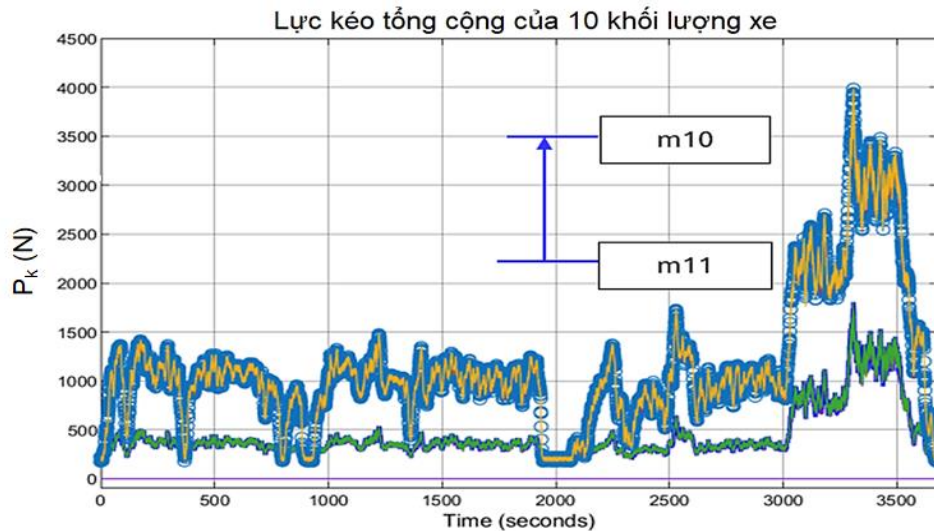
a) Theo mức giảm khối lượng					
Ký hiệu	m11	m22	m33	m44	m55
Lực cản khí động học P_w (N)	115,5	115,5	115,5	115,5	115,5
Mức chênh lệch do giảm khối lượng (%)	0	0	0	0	0
b) Theo mức tăng khối lượng					
Ký hiệu	m66	m77	m88	m99	m10
Lực cản khí động học P_w (N)	115,5	115,5	115,5	115,5	115,5
Mức chênh lệch do tăng khối lượng (%)	0	0	0	0	0

3.5.5. Lực cản dốc

NCS nghiên cứu xây dựng lộ trình thí nghiệm ở khu vực đồng bằng, không có đồi núi dốc quanh co. Trên đường thí nghiệm có độ dốc nhỏ là những cầu cống nên độ dốc lên và xuống gần bằng nhau và số lượng dốc ít. Lực cản dốc phụ thuộc vào độ dốc mặt đường nên có thể bỏ qua lực cản dốc và được sử dụng làm giả thiết trong mô phỏng.

3.5.6. Lực kéo tổng cộng

Lực kéo tổng cộng là tổng các lực cản xuất hiện trong quá trình xe chạy. Khảo sát lực kéo tổng cộng cho thấy rõ sự phụ thuộc vào các lực cản cũng như khối lượng xe khác nhau, hình 3.18.



Hình 3.18. Đồ thị lực kéo tổng cộng ở các khối lượng xe khác nhau
m11: khối lượng xe 702 kg; m10: khối lượng xe 1755 kg.

Giá trị trung bình cụ thể của mức chênh lệch về lực kéo tổng cộng tương ứng với mức chênh lệch tỷ lệ tăng hoặc giảm của khối lượng xe, bảng 3.4. Trong bảng a là các giá trị trung bình của lực kéo tổng cộng theo mức giảm khối lượng và bảng b theo mức tăng khối lượng.

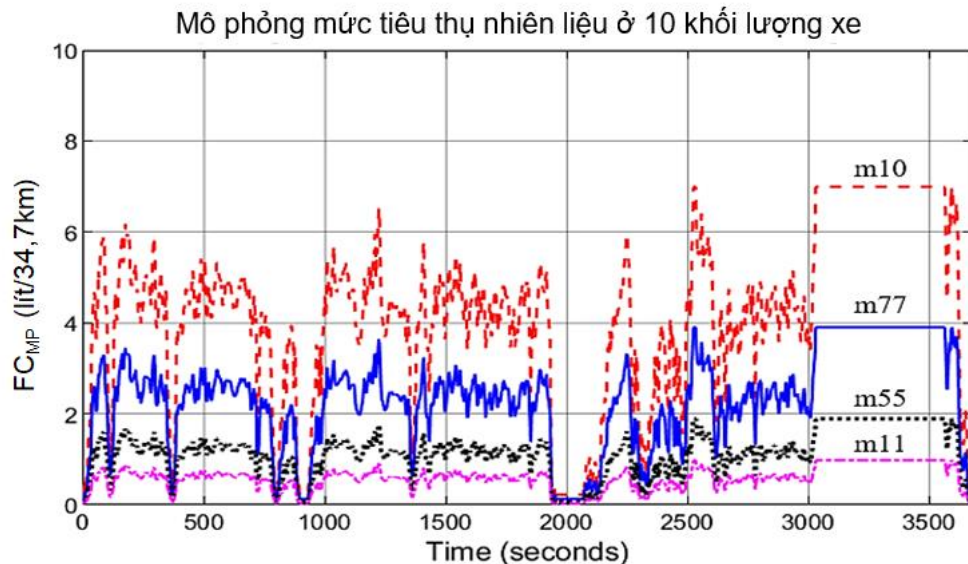
Bảng 3.4. Lực kéo tổng cộng P_k (N)

a) Theo mức giảm khối lượng					
Ký hiệu	m11	m22	m33	m44	m55
Lực kéo P_k (N)	634,13	781,55	846,74	1002,37	1188,32

Mức chênh lệch do giảm khối lượng (%)	46,64	34,23	28,74	15,65	0
b) Theo mức tăng khối lượng					
Ký hiệu	m66	m77	m88	m99	m10
Lực kéo P_k (N)	1238,15	1289,66	1317,22	1381,15	1394,62
Mức chênh lệch do tăng khối lượng (%)	4,19	8,53	10,85	16,23	17,31

3.5.7. Mức tiêu thụ nhiên liệu

Mức tiêu thụ nhiên liệu được phân tích theo thời gian thực trong quá trình xe chạy với quãng đường 34,7 km. Khảo sát sự thay đổi giá trị của các lực kéo tổng cộng và mức tiêu thụ nhiên liệu tương ứng sẽ cho thấy rõ sự phụ thuộc vào khối lượng xe khác nhau, hình 3.19.



Hình 3.19. Đồ thị mức tiêu thụ nhiên liệu ở các khối lượng xe khác nhau
 m11: khối lượng xe 702 kg; m55: khối lượng xe 1170 kg; m77: khối lượng xe 1404 kg; m10: khối lượng xe 1755 kg.

Giá trị trung bình cụ thể của mức chênh lệch về mức tiêu thụ nhiên liệu tương ứng với mức chênh lệch tỷ lệ tăng hoặc giảm của khối lượng xe, bảng 3.5. Trong bảng a là các giá trị trung bình của mức tiêu thụ nhiên liệu, thấp nhất là 2,31 lít/100 km với xe có khối lượng thấp nhất 702 kg và cao nhất là 12,97 lít/100 km với xe có khối lượng cao nhất 1755 kg.

Bảng 3.5. Mức tiêu thụ nhiên liệu FC_{stat} (lít/100 km)

a) Theo mức giảm khối lượng					
Ký hiệu	m11	m22	m33	m44	m55
Mức tiêu thụ nhiên liệu FC_{stat} (lít/34,7 km)	0,8	1,08	1,25	1,41	1,53
Mức tiêu thụ nhiên liệu FC_{stat} (lít/100 km)	2,31	3,11	3,60	4,06	4,41
Mức chênh lệch do giảm khối lượng (%)	47,3	28,9	17,7	7,2	0
b) Theo mức tăng khối lượng					
Ký hiệu	m66	m77	m88	m99	m10
Mức tiêu thụ nhiên liệu FC_{stat} (lít/34,7 km)	1,66	2,0	2,4	3,2	4,5
Mức tiêu thụ nhiên liệu FC_{stat} (lít/100 km)	4,78	5,76	6,92	9,22	12,97
Mức chênh lệch do tăng khối lượng (%)	9,2	31,5	57,9	110,5	196

3.5.8. Nhận xét

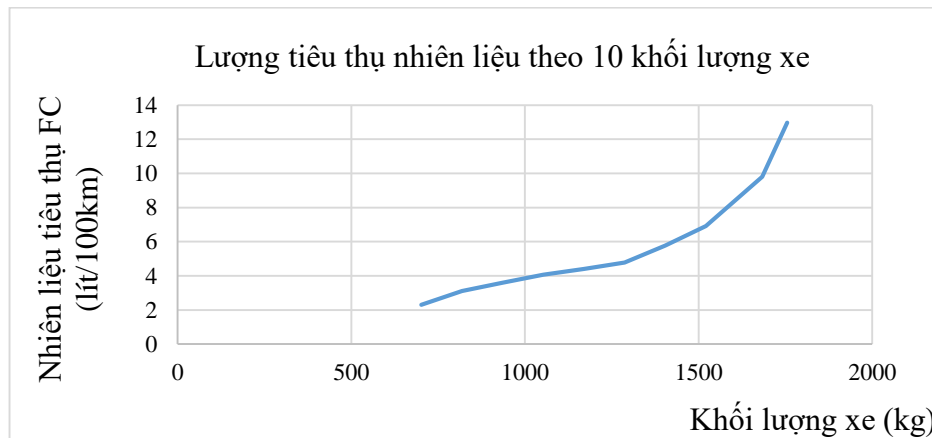
Đánh giá đầy đủ ảnh hưởng của khối lượng đến các lực cản và mức tiêu thụ nhiên liệu theo thời gian thực trong quá trình xe chạy, vận tốc xe, trạng thái mặt đường, điều kiện giao thông và kỹ năng lái xe thay đổi theo thời gian sẽ làm thay đổi về giá trị của các lực cản chuyển động. Trong dãy 10 khối lượng thay đổi được lựa chọn khảo sát lý thuyết và mô phỏng trong phần mềm Matlab Simulink cho kết quả theo hai chiều giảm khối lượng và tăng khối lượng với độ chênh lệch phần trăm nhận thấy tỷ lệ thay đổi giá trị các lực cản cũng tương ứng theo hai chiều giảm và tăng khối lượng.

Như vậy, ở khối lượng của xe nguyên bản Toyota Vios 2009 lấy làm tham chiếu trong mô phỏng, $m55 = 1170$ kg, $FC = 4,41$ (lít/100 km) sẽ được lấy làm mức tham chiếu.

Khi giảm khối lượng xe 10%, $m44 = 1053$ kg thì $FC = 4,06$ (lít/100 km), tỷ lệ % giảm tương ứng là 7,2%, tương ứng khối lượng giảm 20% $m33 = 936$

kg tỷ lệ % giảm tương ứng là 17,7%, tương ứng khối lượng giảm 30% $m_{22} = 819$ kg tỷ lệ % giảm tương ứng là 28,9% và khối lượng giảm 40% $m_{11} = 702$ kg tỷ lệ giảm tương ứng là 47,3%.

Khi tăng khối lượng xe 10% $m_{66} = 1287$ kg thì $FC = 4,78$ (lít/100 km), tỷ lệ % tăng tương ứng là 9,2%, tương ứng khối lượng tăng 20% m_{77} tỷ lệ % tăng tương ứng là 31,5%, tương ứng khối lượng tăng 30% m_{88} tỷ lệ % tăng tương ứng là 57,9%, tương ứng khối lượng tăng 40% m_{99} tỷ lệ % tăng tương ứng là 110,5% và tương ứng khối lượng tăng 50% m_{10} tỷ lệ % tăng tương ứng là 196%.



Hình 3.20. Đồ thị thể hiện lượng tiêu thụ nhiên liệu FC theo 10 khối lượng

Từ dữ liệu bảng 3.5 được xử lý bằng phương pháp hồi quy theo tiêu chuẩn bình phương tối thiểu nhằm xác định hàm thực nghiệm biểu diễn mối quan hệ giữa khối lượng xe và lượng tiêu thụ nhiên liệu, thu được mô hình hàm ghép đoạn, mỗi đoạn được xây dựng phù hợp với từng miền giá trị của khối lượng mô tả tiêu thụ nhiên liệu theo khối lượng như sau:

$$FC = \begin{cases} 0,0035m - 0,15; & m \leq 1300 \\ 0,00002m^2 - 0,045m + 30; & m > 1300 \end{cases} \text{ (lít/100 km); có hệ số}$$

xác định $R^2 \approx 0,99$. Trong đó: m : khối lượng xe kg; FC : lượng tiêu thụ nhiên liệu (lít/100 km).

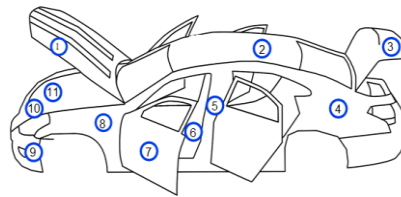
Quan sát đồ thị tại hình 3.20 với 10 mức khối lượng khảo sát cho thấy mối

quan hệ phi tuyến giữa khối lượng với mức tiêu thụ nhiên liệu. Tuy nhiên nếu xét tại các dải khối lượng 700 kg đến 1300 kg thì thấy mối quan hệ gần như tuyến tính theo phương trình $FC = 0,0035m - 0,15$ (lít/100 km), đây là dải khối lượng mà xe hoạt động chủ yếu; còn khối lượng xe từ 1300 kg trở lên cho thấy mối quan hệ là phi tuyến theo phương trình $FC = 0,00002m^2 - 0,045m + 30$ (lít/100 km) và mức tiêu thụ nhiên liệu tăng theo mạnh so với tăng khối lượng, nhưng dải khối lượng này ít hoạt động vì xe ô tô 5 chỗ không đủ vị trí và diện tích để đặt thêm tải. Điều này khẳng định khối lượng có ảnh hưởng lớn đến mức tiêu thụ nhiên liệu và việc giảm khối lượng có ý nghĩa lớn đến tiết kiệm nhiên liệu và giảm phát thải CO₂.

3.6. ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP GIẢM MỨC TIÊU THỤ NHIÊN LIỆU BẰNG LỰA CHỌN VẬT LIỆU NHẸ SỬ DỤNG TRÊN THÂN VỎ

3.6.1. Sơ đồ phân bố các loại vật liệu trên khung vỏ xe

Trên thân vỏ ô tô, các loại vật liệu có sự phân bố phức tạp mà không theo một quy luật trật tự nào tùy theo đặc điểm, yêu cầu mỗi loại xe chẳng hạn như nắp ca pô của xe con có thể được chế tạo từ thép tấm hoặc nhôm tấm. Hình 3.21 mô tả một loại thân vỏ xe con với sự phân bố cấu trúc vật liệu của từng tấm mảng.

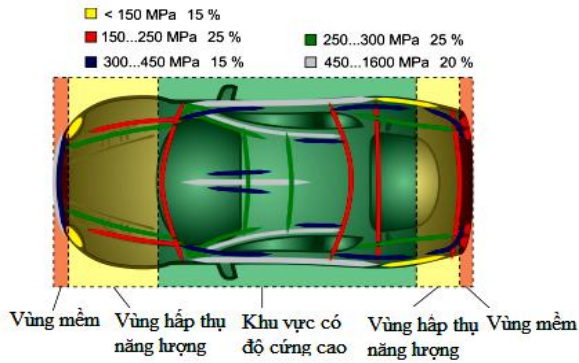


Hình 3.21. Sơ đồ phân bố cấu trúc vật liệu trên thân vỏ xe con

Ở đây, 1) Nắp ca pô: Nhôm; 2) Trần xe: Thép cacbon thấp; 3) Nắp cốp sau: Thép cacbon thấp; 4) Hông sau: Thép cacbon thấp; 5) A Pillar: Thép dập nóng 1000–1500 Mpa; 6) Sàn xe: Thép cacbon thấp; 7) Cửa ngoài: Thép tôi, Cửa trong: thép cacbon thấp; 8) Fender: thép cacbon trung bình hoặc thép tôi; 9) Cản trước: Plastic; 10) Ga lăng mặt trước thân xe: thép 980–1200 MPa hoặc

nhôm; 11) Khoang động cơ: Thép hợp kim tấm có độ bền cao (HSLA).

Phân tích sự phân bố vật liệu theo cấu trúc độ cứng, ở những vị trí cần có độ cứng cao thường sử dụng thép, các xe đời mới sử dụng thép siêu bền. Các vật liệu chính trên thân vỏ ô tô là thép, nhôm, nhựa, đồng, titanium và sợi thủy tinh, cacbon hình 3.22 [71].



Hình 3.22. Sơ đồ phân bố yêu cầu sử dụng vật liệu theo độ cứng

3.6.2. Khả năng sử dụng vật liệu nhẹ trên khung vỏ xe

Ngày nay việc ứng dụng thay thế các vật liệu truyền thống bằng vật liệu nhẹ ngày càng được quan tâm phát triển do tính ưu việt của nó trong đó có việc giảm khối lượng xe. Trong dự báo từ năm 2010 đến 2040 cho thấy tỷ lệ sử dụng vật liệu nhẹ ngày càng tăng và so sánh mức độ cải thiện trọng lượng khi sử dụng vật liệu cho thấy vật liệu composite nhẹ nhất, bảng 3.6 [72].

Bảng 3.6. Dự báo tỷ lệ sử dụng vật liệu nhẹ đến 2040 và cải thiện trọng lượng loại vật liệu

	2010–2040	Mức độ cải thiện trọng lượng (%)
Thép mềm	Giảm	-
Thép hợp kim có độ bền cao	Giảm	-
Thép có độ bền cao	Giảm	-
Thép tiên tiến có cường độ cao	Tăng	-
Thép chất lượng cao, cường độ cực cao	Tăng	15–25
Thép cường lực cao	Tăng	-
Nhôm (5000/60000)	Tăng	30–60

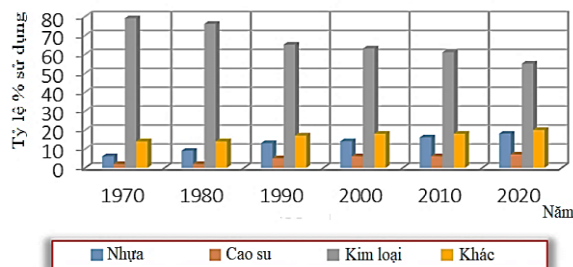
Nhôm có cường độ cao	Tăng	-
Ma-giê	Tăng	30–70
Nhựa gia cường và nhựa tổng hợp	Tăng	50–70

Theo Njuguna [73], composite nhẹ được sử dụng rộng rãi trong kết cấu ô tô nhờ khối lượng riêng thấp và độ bền riêng cao. Jones [74] và Kaw [75] cho thấy vật liệu composite và polyme có khả năng chịu lực tốt, chống ăn mòn và thuận lợi cho gia công tạo hình. Bên cạnh đó, ASM Handbook [76] cũng khẳng định ưu thế giảm khối lượng của nhóm vật liệu này so với vật liệu kim loại truyền thống.

Trên một chiếc xe con trung bình sử dụng khoảng 150–300 kg nhựa và vật liệu tổng hợp so với 1163 kg sắt và thép. Thông thường sử dụng tới 13 loại polyme khác nhau, nhưng có ba loại nhựa được sử dụng nhiều nhất khoảng 66% gồm Polypropylene (32%), Polyurethane (17%) và nhựa PVC (16%) [77].

Nhựa và vật liệu tổng hợp được sử dụng trên xe ô tô đã tăng từ 100 kg vào năm 1990, lên 140kg vào năm 2000, lên 150 kg vào năm 2010 và 200 kg vào năm 2020, giúp ô tô nhẹ hơn và tiết kiệm nhiên liệu hơn, dẫn đến phát thải khí nhà kính (GHG) thấp hơn. Ngoài nhựa và vật liệu tổng hợp, các loại xe hạng nhẹ sử dụng trung bình 120 kg cao su, 25 kg sợi tổng hợp và 17 kg chất phủ bao gồm chất chống đông và các chất lỏng khác, chất xúc tác [78].

Tỷ lệ các vật liệu nhẹ trên xe ô tô trung bình đã tăng năm 1970 từ 6% lên 16% vào năm 2010 và năm 2020 sẽ đạt 18%, hình 3.23 [79].



Hình 3.23. Tỷ lệ sử dụng các vật liệu trên xe ô tô

Hiện nay, trong thiết kế và chế tạo khung vỏ ô tô, nhiều loại vật liệu nhẹ

đã và đang được nghiên cứu và ứng dụng nhằm giảm khối lượng xe nhưng vẫn đảm bảo độ bền và an toàn. Các vật liệu polymer được sử dụng phổ biến trong ngành ô tô nhờ ưu điểm nhẹ, dễ gia công và khả năng thay thế một số chi tiết kim loại truyền thống [80]. Bên cạnh đó, các tài liệu nền tảng về vật liệu ô tô cũng đã chỉ ra sự đa dạng của các nhóm vật liệu sử dụng trong công nghiệp chế tạo xe, bao gồm thép, hợp kim và vật liệu phi kim [81].

Ngoài ra, các hợp kim không chứa sắt cũng được ứng dụng rộng rãi trong các bộ phận yêu cầu giảm khối lượng và tăng khả năng chống ăn mòn [76]. Trong xu hướng phát triển hiện đại, vật liệu composite nhẹ ngày càng được quan tâm nhờ khả năng tối ưu hóa đồng thời độ bền cơ học và khối lượng, đặc biệt trong các cấu trúc thân xe và khung xe [73]. Đồng thời, cơ học vật liệu composite đã được nghiên cứu sâu, cung cấp cơ sở lý thuyết quan trọng cho việc thiết kế và phân tích kết cấu trong lĩnh vực ô tô [74]. Bao gồm các loại chính như sau:

- Vật liệu composite có trọng lượng nhẹ, độ cứng tốt và ít bị ăn mòn.
- Nhựa polycarbonate (PC) được sử dụng để chế tạo tấm cản, thấu kính đèn pha, màn hình an ninh, bảng điều khiển, thấu kính đèn pha.
- Polyamide ứng dụng sản xuất các bộ phận nằm dưới nắp ca-bô khoang động cơ.
- Nhựa Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) chế tạo các bộ phận trên thân vỏ xe, bảng điều khiển.
- Hợp kim nhựa nhiệt dẻo PC dùng sản xuất các chi tiết trang trí bên trong và bên ngoài và các bộ phận trên thân xe con như vỏ radio và hệ thống định vị, cửa trần trượt, lưới điều hòa không khí, vành tay lái, ga lăng, chấn bùm.
- Nhựa Polyvinyl Clorua (PVC) sử dụng để sản xuất lớp bảo vệ cho sàn dưới cùng của ô tô, làm lớp lót bên trong và lớp phủ của dây cáp điện trong xe.

– Nhựa Polypropylene (PP) sử dụng chế tạo cabin ô tô, vỏ hộp ắc quy, thùng xăng, thảm để chân.

– Nhựa Polyurethanes sử dụng chế tạo đệm ghế ngồi dạng bọt xốp linh hoạt, tấm cách nhiệt bằng bọt, lớp đàn hồi, đệm của hệ thống treo ô tô, đệm và các bộ phận bằng nhựa cứng.

– Nhựa polimer thủy tinh Polystyrene dùng chế tạo vỏ thiết bị, nút bấm.

– Nhựa polymer POM (Polyoxymethylene), ứng dụng chế tạo các chi tiết nội thất và ngoại thất, hệ thống nhiên liệu, bánh răng nhỏ, thanh dẫn cửa sổ, khóa, van bình xịt, ốc vít.

– Nhựa nhiệt PMMA (Acrylic) ứng dụng chế tạo cửa sổ, màn hình.

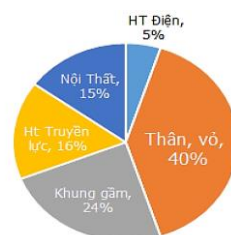
– Polybutylene terephthalate (PBT) được ứng dụng chế tạo vỏ và viền đèn sương mù, các bộ phận phía trước của mái che nắng, vỏ hệ thống khóa, tay nắm cửa, cản chống va đập, các bộ phận chế hòa khí, v.v.

– Polyethylene terephthalate (PET) ứng dụng chế tạo tay gạt nước và vỏ hộp số, bộ phận giữ đèn pha, nắp động cơ, vỏ đầu nối, v.v.

– Nhựa ASA (Acrylonitrile styrene acrylate) Ứng dụng chế tạo vỏ, cấu kiện, bộ phận nội thất và các ứng dụng ngoài trời.

3.6.3. Tỷ lệ phân bố khối lượng trên xe

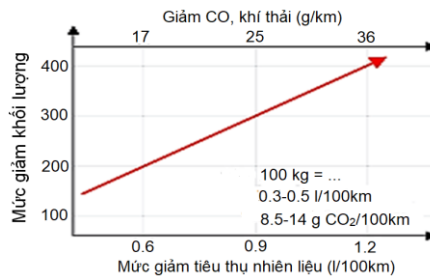
Trên xe con, phân chia theo tỷ lệ phân bố khối lượng cho thấy khung vỏ xe có tỷ lệ sử dụng vật liệu cao nhất, đến 40%, tiếp theo là sắt xi 24%, nội thất 15%, hệ thống truyền lực 16% và hệ thống điện 5%, hình 3.24.



Hình 3.24. Sơ đồ phân bố khối lượng trên xe con

Khung vỏ xe có khả năng thay đổi vật liệu dễ nhất cho các nhà thiết kế và chế tạo, do có tính linh hoạt trong lựa chọn vật liệu và ít ảnh hưởng chức năng khác.

Khối lượng của xe là một trong những thông số quan trọng nhất ảnh hưởng đến lực cản chuyển động của xe ô tô. Giảm khối lượng sẽ làm giảm lực cản gia tốc, lực cản lăn và lực cản leo dốc. Khi giảm 100 kg trọng lượng xe sẽ giảm lượng khí thải CO₂ khoảng 8,5 g/km và giảm khoảng 0,3 lít/100 km tiêu thụ nhiên liệu, hình 3.25 [71].



Hình 3.25. Quan hệ của mức giảm tiêu thụ nhiên liệu và khối lượng xe

Nghiên cứu thực nghiệm của Ahmad T. 2019 cho thấy khi giảm khối lượng xe 10% thì FC giảm 5–7% [82].

Theo Lauter và các tác giả [83], xu hướng giảm khối lượng ô tô được thúc đẩy mạnh bởi việc ứng dụng kết cấu đa vật liệu nhằm giảm khối lượng thân xe và giảm chi phí nhiên liệu. Bên cạnh đó, theo Shi và các tác giả [84] đã chứng minh rằng thiết kế tối ưu các kết cấu chịu lực theo hướng lightweight giúp giảm khối lượng xe mà vẫn đảm bảo độ bền và khả năng hấp thụ năng lượng va chạm.

3.6.4. Tiêu chí lựa chọn vật liệu nhẹ và cơ sở thay đổi khối lượng

Do có nhiều loại vật liệu nhẹ sử dụng trên ô tô, để tập trung và có thể ứng dụng kết quả mô phỏng đối với những vật liệu khác, NCS đã sử dụng vật liệu composite trong mô phỏng.

Sử dụng vật liệu composite trên khung vỏ xe sẽ giảm khối lượng xe và giảm giá trị các lực cản chuyển động trên ô tô. Ngoài ra vật liệu nhẹ composite còn có giá thành rẻ, dễ làm khuôn tạo hình, không đòi hỏi đầu tư nhiều trang

thiết bị công nghệ và kỹ thuật viên để thực hiện [85].

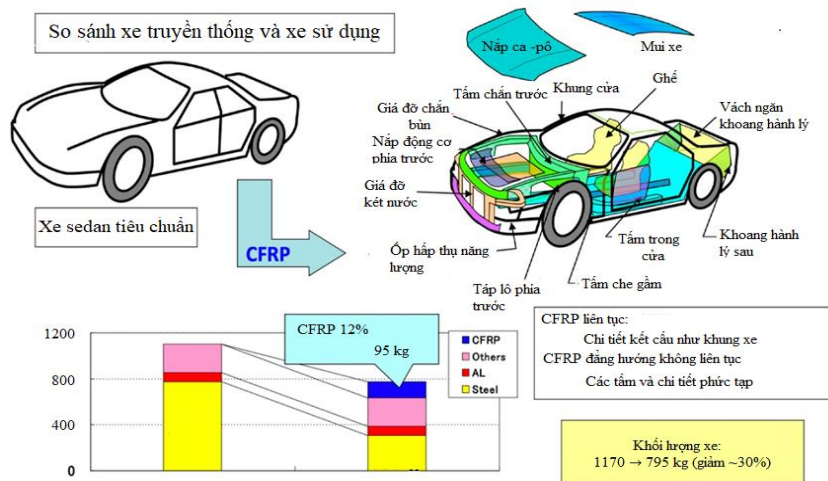
So sánh hai loại vật liệu trên xe gồm thép tấm nguyên bản có tỷ trọng 7890 kg/m³ và vật liệu composite, đại diện là loại CFRP-Epoxy có tỷ trọng 1600 kg/m³ cho thấy tỷ số chênh lệch khối lượng là 7890/1600 = 4,93.

Theo sơ đồ tỷ lệ phân bố khối lượng khung vỏ khoảng 40% trên toàn xe, mô hình mô phỏng sẽ có khối lượng theo bảng 3.7.

Bảng 3.7. Phân tích khối lượng xe mô phỏng

	Khối lượng toàn xe đầy tải kg	Khối lượng khung vỏ ~40% kg	Khối lượng các cụm khác kg
Thân xe thép nguyên thủy	1170	470	700
Thân xe composite CFRP-Epoxy	795	95	700

Bố trí vật liệu trên ô tô và so sánh khối lượng của xe vật liệu nhẹ và xe truyền thống thể hiện trên hình 3.26.



Hình 3.26. So sánh khối lượng xe truyền thống và xe sử dụng vật liệu CFRP

3.6.5. Các lực cản chuyển động trong sử dụng vật liệu composite trên khung vỏ

Giả thiết góc dốc mặt đường ban đầu $\theta = 0^\circ$; các thông số khí động học được xác định từ mô phỏng CFD trong phần mềm Ansys Workbench đối với xe thực Toyota Vios 2009 gồm: Diện tích cản chính diện của xe $A = 1,8585 \text{ m}^2$;

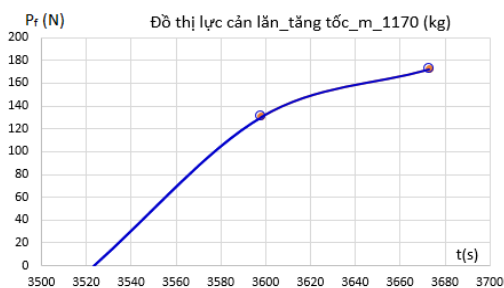
hệ số cản không khí $C_d = 0,29$; hệ số cản lăn $C_{rr} = 0,015$; mật độ không khí $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$. Các lực cản sẽ được mô phỏng xác định trong ba trường hợp: (1) Cả thời gian của chu trình; (2) Trong thời gian tăng tốc (xét một thời điểm); (3) Trong thời gian giảm tốc (xét một thời điểm).

3.6.5.1. Trong toàn bộ chu trình

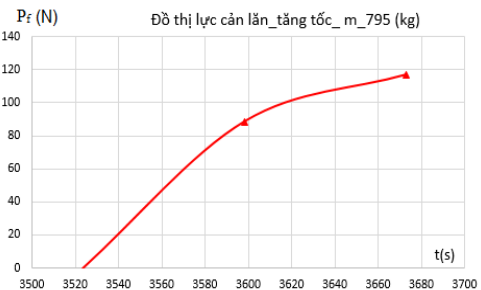
Kết quả mô phỏng khảo sát cả thời gian của chu trình cho thấy sự thay đổi hiệu quả của việc sử dụng vật liệu nhẹ trên xe. Lực cản lăn trên xe có khung vỏ sử dụng vật liệu nhẹ composite CFRP-Epoxy giảm được 55,25 (N), tương ứng với tỷ lệ giảm 32% so với xe nguyên bản có khung vỏ thép. Lực cản dốc trên xe có khung vỏ sử dụng vật liệu nhẹ composite CFRP-Epoxy giảm được 39,1 (N), cũng tương ứng với tỷ lệ giảm 32% so với xe nguyên bản có khung vỏ thép. Lực cản khí động học trên cả xe có khung vỏ sử dụng vật liệu nhẹ composite CFRP-Epoxy và xe nguyên bản có khung vỏ thép là như nhau do không thay đổi hình dáng kết cấu khí động học của xe.

3.6.5.2. Trong thời gian tăng tốc

Đồ thị kết quả mô phỏng lực cản lăn có xu thế tăng trong thời gian tăng tốc tại giây thứ 3523 đến 3620 trình bày trên hình 3.27 cho thấy lực cản lăn trên xe có khung vỏ sử dụng vật liệu nhẹ composite CFRP-Epoxy giảm được 52,3 (N), tương ứng với tỷ lệ giảm 32,05% so với xe nguyên bản có khung vỏ thép.



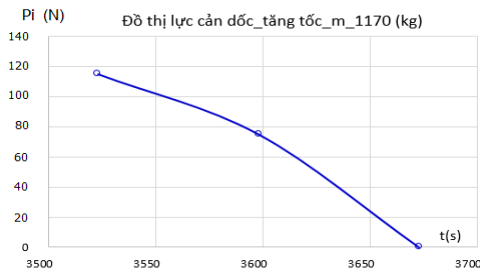
a) Trên xe khung vỏ thép



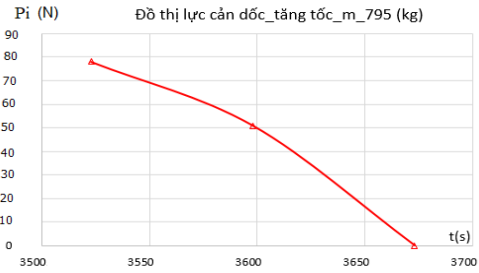
b) Trên xe khung vỏ composite
CFRP-Epoxy

Hình 3.27. Đồ thị lực cản lăn trong thời gian tăng tốc

Đồ thị kết quả mô phỏng lực cản dốc có xu thế giảm trong thời gian tăng tốc tại giây thứ 3523 đến 3620 trình bày trên hình 3.28 cho thấy lực cản dốc trên xe có khung vỏ sử dụng vật liệu nhẹ composite CFRP-Epoxy giảm được 40,2 (N) tương ứng với tỷ lệ giảm 32,1% so với xe nguyên bản có khung vỏ thép.



a) Trên xe khung vỏ thép



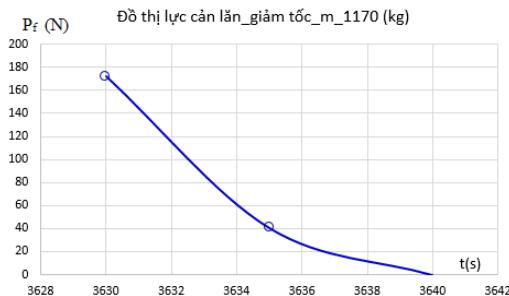
b) Trên xe khung vỏ composite CFRP-Epoxy

Hình 3.28. Đồ thị lực cản dốc trong thời gian tăng tốc

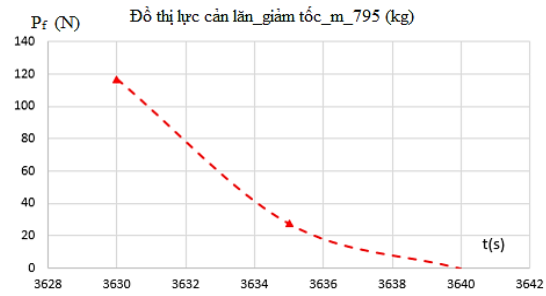
Lực cản khí động học của cả hai loại khung vỏ xe trong trường hợp tăng tốc không thay đổi do hình dáng khí động học hai xe là như nhau.

3.6.5.3. Trong thời gian giảm tốc

Đồ thị kết quả mô phỏng lực cản lăn có xu thế giảm trong thời gian giảm tốc tại giây thứ 3630 đến 3640 trình bày trên hình 3.29 cho thấy lực cản lăn trên xe có khung vỏ sử dụng vật liệu nhẹ composite CFRP-poxy giảm được 62,6 (N), tương ứng với tỷ lệ giảm 32,05% so với xe nguyên bản có khung vỏ thép.



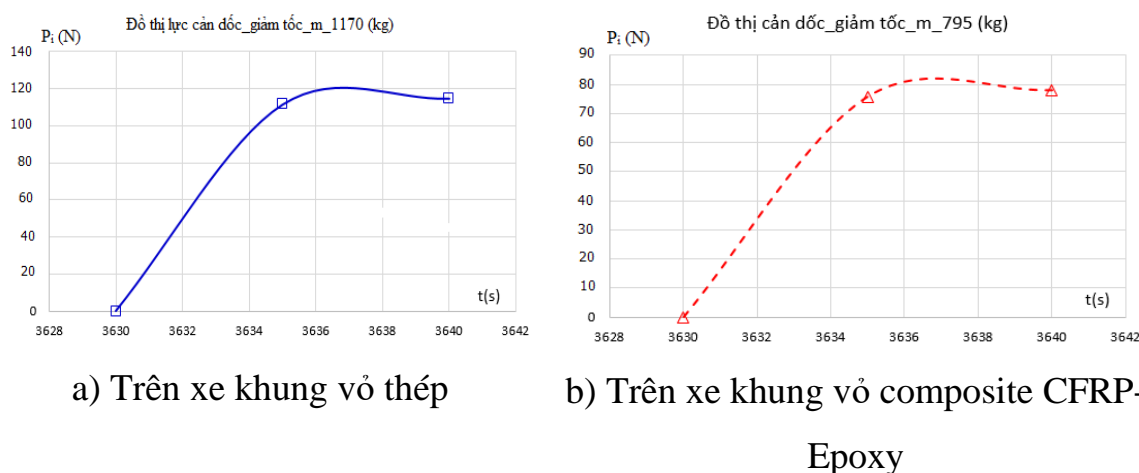
a) Trên xe khung vỏ thép



b) Trên xe khung vỏ composite CFRP-Epoxy

Hình 3.29. Đồ thị lực cản lăn trong thời gian giảm tốc

Đồ thị kết quả mô phỏng lực cản dốc có xu thế tăng trong thời gian tăng tốc tại giây thứ 3630 đến 3640 trình bày trên hình 3.30 cho thấy lực cản dốc trên xe có khung vỏ sử dụng vật liệu nhẹ composite CFRP-Epoxy giảm được 39 (N), tương ứng với tỷ lệ giảm 32,05% so với xe nguyên bản có khung vỏ thép.



Hình 3.30. Đồ thị lực cản dốc trong thời gian giảm tốc

Lực cản khí động học của cả hai loại khung vỏ xe trong trường hợp giảm tốc không thay đổi do hình dáng khí động học và hai xe là như nhau.

3.7. ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ CỦA XE SỬ DỤNG VẬT LIỆU NHẸ

3.7.1. Hiệu quả về kỹ thuật, nhiên liệu, môi trường

Từ các kết quả phân tích lý thuyết, số liệu thống kê và mô phỏng, có thể khẳng định rằng việc sử dụng vật liệu nhẹ, đặc biệt là vật liệu composite CFRP, trên thân vỏ ô tô mang lại hiệu quả rõ rệt trong việc giảm khối lượng và cải thiện hiệu suất vận hành của xe.

Cụ thể, do khối lượng riêng của vật liệu composite thấp hơn nhiều so với thép truyền thống, việc thay thế vật liệu này giúp giảm đáng kể khối lượng thân vỏ – bộ phận chiếm tỷ trọng lớn trong tổng khối lượng xe. Kết quả mô phỏng cho thấy tổng khối lượng xe có thể giảm trên 30%, kéo theo sự giảm tương ứng của các lực cản chuyển động phụ thuộc vào trọng lượng, Cụ thể, trong toàn chu

trình vận hành, lực cản lăn giảm khoảng 55,25 N (~32%) và lực cản dốc giảm khoảng 39,1 N (~32%). Trong các giai đoạn làm việc đặc trưng, lực cản lăn giảm khoảng 52,3 N (32,05%) khi tăng tốc và 62,6 N (32,05%) khi giảm tốc; lực cản dốc giảm khoảng 40,2 N (32,1%) trong tăng tốc và khoảng 39 N (32,05%) trong giảm tốc.

Sự giảm các lực cản này dẫn đến việc giảm công suất từ động cơ trong quá trình chuyển động, từ đó làm giảm mức tiêu thụ nhiên liệu và lượng phát thải khí CO₂. Trong khi đó, lực cản khí động học không bị ảnh hưởng do hình dạng kết cấu xe không thay đổi, cho thấy hiệu quả của giải pháp tập trung vào cải thiện các yếu tố cơ học thay vì khí động học.

Bên cạnh hiệu quả về nhiên liệu, vật liệu composite còn có ưu điểm về khả năng chống ăn mòn, dễ tạo hình và có tiềm năng ứng dụng rộng rãi trong chế tạo thân vỏ ô tô. Tuy nhiên, việc sử dụng vật liệu này cần được xem xét đồng thời với các yêu cầu về độ bền kết cấu, an toàn và chi phí sản xuất để đảm bảo tính khả thi trong thực tế. Với phạm vi nghiên cứu của đề tài phân tích về ảnh hưởng của khối lượng đến tiêu thụ nhiên liệu nên chưa đề cập đến nghiên cứu độ bền và chi phí sản xuất của vật liệu composite. Nội dung này để ở hướng nghiên cứu tiếp theo.

Như vậy, với mức giảm khối lượng khoảng 30–32%, giảm lực cản cơ học khoảng 32%, cùng với khả năng giảm tiêu thụ nhiên liệu và phát thải tương ứng, giải pháp sử dụng vật liệu composite CFRP trên thân vỏ ô tô cho thấy hiệu quả rõ rệt cả về kỹ thuật, năng lượng và môi trường. Đây là một hướng nghiên cứu và ứng dụng có tính khả thi và ý nghĩa thực tiễn cao trong phát triển ô tô hiện đại, khi xe điện là xu hướng với khối lượng pin lớn thì cần phải giảm khối lượng của các bộ phận khác trong đó khung vỏ là chủ yếu.

3.7.2. Hiệu quả kinh tế

Đánh giá tính kinh tế sử dụng nhiên liệu của xe có ý nghĩa quan trọng

trong thực tiễn và đặc biệt quan trọng cho đơn vị sử dụng nhiều xe khi tính toán được chi phí sử dụng những xe cùng loại nhưng có khối lượng nhẹ hơn.

Tính kinh tế sử dụng nhiên liệu của xe được tính bằng số lượng nhiên liệu của xe tiêu thụ trong một năm tính theo số km xe chạy được. Chênh lệch mức FC là số liệu xác định mức tiết kiệm nhiên liệu hàng năm khi so sánh xe cùng một xe có khối lượng lớn sang khối lượng nhỏ hơn do sử dụng vật liệu nhẹ trên khung vỏ. Tính kinh tế của xe theo mức tiêu thụ nhiên liệu YFS (Lít) được xác định theo phương trình (3.8) để đánh giá chỉ tiêu này.

$$YFS = \frac{L(FC_1 - FC_2)}{100}; \text{Lít} \quad (3.8)$$

Trong đó:

L : số km xe chạy một năm; FC_1 : là mức tiêu thụ nhiên liệu của xe nguyên bản, L/100 km; FC_2 : mức tiêu thụ nhiên liệu của xe mới đã thay thế khung vỏ bằng vật liệu nhẹ, L/100 km.

Giả thiết rằng số km xe chạy mỗi năm là 100.000 km, từ kết quả khảo sát trong bảng 3.5 ở trên, lập bảng tính toán ta nhận được kết quả nêu trong bảng 3.8.

Bảng 3.8. Đánh giá tính kinh tế sử dụng nhiên liệu của xe.

a) Theo chiều giảm khối lượng.					
Ký hiệu	m11	m22	m33	m44	m55
Khối lượng kg	702	819	936	1053	1170
FC (lít/100 km)	2,31	3,11	3,60	4,06	4,41
YFS (L)	2105	1298	808	347	0
SM (VN đồng)	42100000	25960000	16160000	6940000	-
b) Theo chiều tăng khối lượng.					
Ký hiệu	m66	m77	m88	m99	m10
Khối lượng kg	1287	1404	1521	1638	1755
FC (lít/100 km)	4,78	5,76	6,92	9,22	12,97

<i>YFS</i> (L)	-374	-1354	-2506	-4812	-8558
SM (VN đồng)	-7480000	-27080000	-50120000	-96240000	-171160000

Trên bảng tổng hợp cho thấy khi sử dụng vật liệu nhẹ giảm khối lượng xe từ $m_{55} = 1170$ kg theo tỷ lệ 10% đến $m_{11} = 702$ kg, thì lượng nhiên liệu tiêu thụ giảm tương ứng là 347 (L), 808 (L), 1298 (L), 2105 (L). Giả thiết giá mỗi lít xăng là 20.000 đồng VN thì giá trị tiết kiệm lần lượt là gần 7 triệu đồng, gần 20 triệu, trên 25 triệu đồng, và trên 40 triệu đồng.

Khi khối lượng xe tăng lên từ $m_{66} = 1287$ kg theo tỷ lệ 10% đến $m_{10} = 1755$ kg, thì lượng nhiên liệu tiêu thụ tăng tương ứng là 374 (L), 1354 (L), 2506 (L), 4812 (L) và 8558 (L). Khi đó giá thành sử dụng tăng lần lượt là gần 10 triệu đồng, gần 30 triệu, trên 50 triệu đồng, trên 90 triệu đồng và trên 170 triệu đồng.

KẾT LUẬN CHƯƠNG 3

Chương 3 đã trình bày quá trình phân tích ảnh hưởng của khối lượng xe đến các lực cản chuyển động và mức tiêu thụ nhiên liệu thông qua mô phỏng Matlab/Simulink, đồng thời đề xuất giải pháp sử dụng vật liệu nhẹ để giảm khối lượng xe.

Dữ liệu vận tốc xe theo thời gian thực được thu thập và xử lý bằng biến đổi Fourier để loại bỏ nhiễu tần số thấp, đảm bảo độ tin cậy của tín hiệu đầu vào cho mô phỏng các lực cản chuyển động như lực cản lăn, lực cản không khí; công suất tiêu thụ; lực kéo và mức tiêu thụ nhiên liệu.

Kết quả mô phỏng trên 10 mức khối lượng từ 702 kg đến 1755 kg cho thấy rõ quy luật ảnh hưởng của khối lượng đến từng thành phần lực cản. Lực cản lăn tỷ lệ thuận với khối lượng xe, lực cản khí động học không thay đổi theo khối lượng vì hình dáng xe không thay đổi trong các trường hợp khảo sát. Lực cản dốc được bỏ qua do điều kiện đường thí nghiệm có độ dốc nhỏ. Lực kéo tổng cộng giảm tới 46,64% khi khối lượng xe giảm về m_{11} và tăng tới 17,31%

khi khối lượng tăng lên m10, phản ánh đúng xu hướng thay đổi của các lực cản.

Lấy mức tham chiếu là xe nguyên bản $m_{55} = 1170$ kg với $FC_{\text{stat}} = 4,41$ (lít/100 km), kết quả mô phỏng cho thấy mức tiêu thụ nhiên liệu thay đổi rõ rệt theo khối lượng xe theo cả hai chiều tăng và giảm. Khi giảm khối lượng thì mức tiêu thụ nhiên liệu giảm tương ứng, khi tăng khối lượng thì mức tiêu thụ nhiên liệu tăng tương ứng. Từ dữ liệu này, mối quan hệ giữa khối lượng và mức tiêu thụ nhiên liệu được mô tả bằng mô hình hàm ghép đoạn, trong đó mỗi miền giá trị được xấp xỉ bằng một hàm phù hợp (tuyến tính và đa thức bậc hai), với các hệ số được xác định theo phương pháp bình phương tối thiểu. Mô hình cho hệ số xác định cao ($R^2 \approx 0,99$), đảm bảo độ tin cậy cao cho ứng dụng thực tiễn.

Luận án đã đề xuất giải pháp thay thế khung vỏ thép truyền thống bằng vật liệu composite CFRP-Epoxy, giúp giảm khối lượng xe từ 1170 kg xuống 795 kg, tương ứng giảm 32% khi khối lượng khung vỏ chiếm khoảng 40% tổng khối lượng xe. Kết quả mô phỏng trong cả ba trạng thái vận hành (toàn chu trình, tăng tốc và giảm tốc) đều cho thấy lực cản lăn và lực cản dốc giảm đồng đều khoảng 32%.

Đánh giá tính kinh tế nhiên liệu với giả thiết xe chạy 100.000 km/năm và giá xăng 20.000 đồng/lít cho thấy khi giảm khối lượng xe 10%, 20%, 30% và 40% thì lượng nhiên liệu tiết kiệm hàng năm lần lượt là 347 lít, 808 lít, 1298 lít và 2105 lít, tương ứng với giá trị tiết kiệm từ gần 7 triệu đến hơn 40 triệu đồng mỗi năm. Kết quả này có ý nghĩa đặc biệt đối với các đơn vị khai thác đội xe lớn.

Các kết quả phân tích và mô phỏng trong chương 3 đã định lượng được mức độ ảnh hưởng của khối lượng xe đến các lực cản chuyển động và mức tiêu thụ nhiên liệu có căn cứ khoa học, đồng thời chứng minh tính khả thi và hiệu quả của giải pháp sử dụng vật liệu nhẹ trên khung vỏ xe.

CHƯƠNG 4: NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM

4.1. NHỮNG PHƯƠNG PHÁP THÍ NGHIỆM XÁC ĐỊNH MỨC TIÊU THỤ NHIÊN LIỆU TRÊN Ô TÔ

4.1.1. Thí nghiệm đo trên bộ thử

a) Bộ thử động cơ

Trên bộ thử động cơ sẽ nối trực tiếp với trục đầu ra của động cơ sau khi tháo ra khỏi xe và bộ thử khung gầm thử trực tiếp xe, cho xe chạy những vận tốc khác nhau trên các con lăn. Kết quả đo trên bộ thử là thành phần khí thải với chu trình thử nghiệm theo tiêu chuẩn [86].

Đo trên bộ thử động cơ có nhiều ưu điểm nhưng không chính xác do bỏ qua ảnh hưởng của các thiết bị phụ như điều hòa không khí hoặc hiệu suất truyền lực trong khi điều hòa không khí trên xe thực tế có thể ảnh hưởng đến mức FC đến 20% [87].

b) Bộ thử khung gầm

Theo Oberg và các tác giả [88], bộ thử khung gầm cho phép tạo ra nhiều thông số gần như thực tế và bảo đảm độ lặp lại cao của phép đo. Trên cơ sở đó, Carlson và các tác giả [89] đã sử dụng phương pháp này để đánh giá ảnh hưởng của khối lượng xe đến lực cản chuyển động và mức tiêu thụ năng lượng. Nhược điểm của bộ thử khung gầm là sử dụng các thiết bị và phòng thí nghiệm rất đắt nên chi phí cho công việc đo rất cao.

4.1.2. Đo trực tiếp trên xe đang chạy trên đường

Đo trực tiếp lượng nhiên liệu tiêu thụ của xe đang chạy trên đường có các điều kiện chuyển động thực tế nên kết quả dễ đạt được yêu cầu đặt ra. Ưu điểm của phương pháp này là phù hợp quy định về môi trường đối với xe, chi phí cho quá trình đo phù hợp hơn.

Hiệp hội Kỹ sư Ô tô thế giới (SAE) đưa ra một quy trình đo mức FC của xe trên đường thành tiêu chuẩn AE J1321 (SAE J1321), ở đây xe kiểm tra chạy liên tục trên mỗi chu trình tối thiểu là 40 dặm (tương đương 65 km) và tối thiểu một lần kiểm tra là 3 chu trình, tương đương 195 km. Sử dụng bình nhiên liệu tháo rời, được cân sau mỗi lần chạy thử để xác định lượng nhiên liệu tiêu thụ, hình 4.1 [90].



a) Sử dụng bình nhiên liệu tháo rời b) Cân nhiên liệu sau mỗi lần chạy

Hình 4.1. Cách đo nhiên liệu xe chạy trên đường theo tiêu chuẩn SAE J1321

4.2. MỤC TIÊU, PHƯƠNG PHÁP, ĐỐI TƯỢNG THÍ NGHIỆM

4.2.1. Mục tiêu thí nghiệm

Thí nghiệm nhằm đạt những mục tiêu chính:

+ Xây dựng bộ dữ liệu thực nghiệm phục vụ mô hình hóa và phân tích:

– Tiến hành thu thập dữ liệu vận tốc xe chạy trên các lộ trình thực tế (đường đô thị, hỗn hợp và ngoại thành) với điều kiện lái xe ổn định.

– Ghi nhận chi tiết các thông số mức độ phân trăm đạp bàn ga và lực tác dụng lên bàn đạp phanh trong suốt quá trình xe vận hành để thiết lập chu trình lái xe thực tế (Driving Cycle) phản ánh điều kiện giao thông Việt Nam.

– Từ các thông số này, xây dựng bộ dữ liệu đặc trưng về hành vi vận hành của xe, làm cơ sở so sánh và kiểm chứng mô hình mô phỏng mức tiêu thụ nhiên liệu.

+ Đo đạc và đánh giá mức FC thực tế của xe Toyota Vios 2009 tương ứng với bộ dữ liệu vận hành thu thập được, sử dụng bộ đo tiêu thụ nhiên liệu do NCS nghiên cứu chế tạo.

+ So sánh kết quả thực nghiệm với mô hình mô phỏng để xác định mức độ phù hợp và độ tin cậy của mô hình tính toán, qua đó đánh giá mức độ hợp lý của phương pháp nghiên cứu cũng như độ chính xác của mô hình đề xuất.

4.2.2. Phương pháp thí nghiệm

Thí nghiệm đo mức tiêu thụ nhiên liệu của ô tô theo phương pháp đo đặc trực tiếp kết hợp với khảo sát, tính toán nhằm xác định 5 thông số, trong đó các thông số từ 1 đến 4 thuộc những lần thí nghiệm thứ i thuộc không gian n chiều để đảm bảo xác lập các điều kiện đầu và ổn định quá trình thí nghiệm. Thông số thứ 5 thuộc không gian m chiều là mức tiêu thụ nhiên liệu của ô tô.

4.2.3. Đối tượng thí nghiệm

Thí nghiệm trên xe Toyota Vios 2009 sedan 5 chỗ ngồi đã qua sử dụng với tình trạng kỹ thuật ổn định, hình 4.2.



Hình 4.2. Xe sử dụng trong thí nghiệm

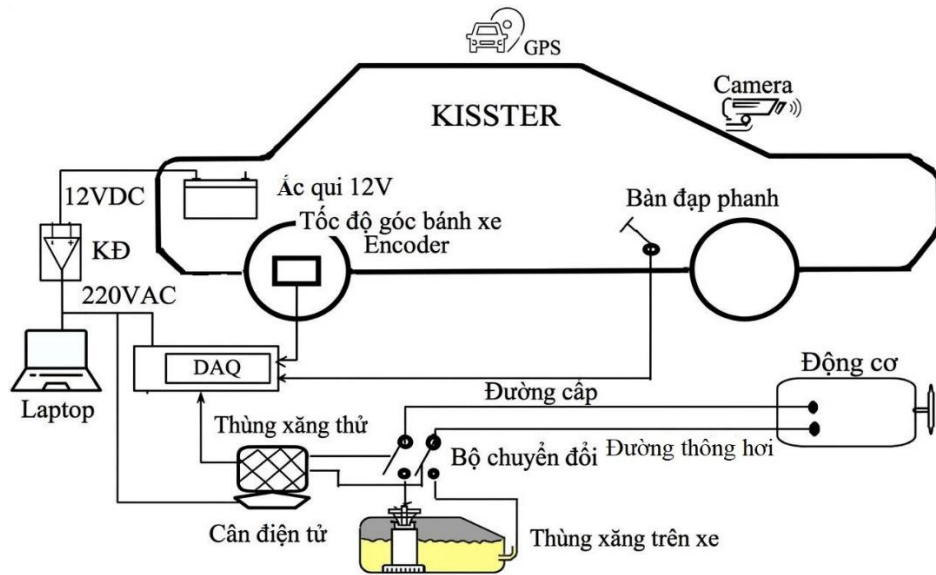
4.2.4. Người lái xe

Lái xe thí nghiệm có kinh nghiệm lái xe để lái xe ổn định và giảm sự thay đổi của người lái giữa các lần chạy thử. Các điều kiện về phanh, chuyển số, tăng tốc hoặc giảm tốc gần tương đương nhau, cho phép sai khác nhau <8%.

4.3. THIẾT BỊ THÍ NGHIỆM

4.3.1. Sơ đồ kết nối các thiết bị thí nghiệm

Các thiết bị thí nghiệm đo mức tiêu thụ nhiên liệu có các mô đun đo tiêu chuẩn hóa quốc tế được tích hợp cùng những mô đun chế tạo bổ sung và phần mềm chuyên dụng có tên Kisster đã được kiểm định đánh giá chất lượng bởi Tổng cục Tiêu chuẩn đo lường Việt Nam. Các thiết bị thí nghiệm lắp đặt trực tiếp trên xe thí nghiệm. Sơ đồ kết nối tổng thể nêu trên hình 4.3.



Hình 4.3. Sơ đồ kết nối thiết bị thí nghiệm trên xe thí nghiệm

Đặc tính của kết nối đảm bảo đúng nguyên lý hoạt động của hệ thống cung cấp nhiên liệu trên xe, việc này cần bộ chuyển đổi lắp nối tiếp trên đường ống. Hai đường cáp và đường hồi trong hệ thống cần giữ nguyên trạng thái kết cấu. Thùng xăng thử có thể tích nhỏ hơn thùng có thể chứa tối đa 60% nhiên liệu so với thùng trên xe để luôn có 40% còn lại dự trữ cho xe.

4.3.2. Các thiết bị và dụng cụ thí nghiệm

Có 2 nhóm thiết bị thí nghiệm: nhóm theo dõi thí nghiệm và nhóm bộ đo.

4.3.2.1. Nhóm theo dõi thí nghiệm

a) ECU của động cơ

ECU của động cơ làm nhiệm vụ thu thập dữ liệu theo dõi chế độ làm việc

của động cơ. Thiết bị này nằm trong bộ điều khiển động cơ (ECU) theo dõi số vòng quay, nhiệt độ, ... của động cơ. Sau khi thử nghiệm, số liệu này được trích xuất báo cáo. ECU của xe có hình ảnh trình bày trên hình 4.4.



Hình 4.4. ECU động cơ Toyota Vios 2009 loại 89661-0D240

b) Bộ GPS

Bộ GPS ghi lại vĩ độ và kinh độ, tốc độ của xe có độ chính xác 0,1 mph. Bên đó có thể lắp thêm camera hành trình, trang bị thiết bị theo dõi quá trình di chuyển. Bộ GPS trang bị trên xe loại Speedometer đo tốc độ, quãng đường di chuyển, hình 4.5.



Hình 4.5. Bộ GPS hành trình sử dụng trên xe thí nghiệm

4.3.2.2. Bộ đo

a) Cân điện tử

Cân điện tử đo trọng lượng nhiên liệu thuộc loại cân bàn nhằm đặt thùng xăng thử trực tiếp lên bàn cân giúp dễ dàng lắp đặt và kiểm soát hoạt động. Phần cảm biến chính là cân điện tử và thùng nhiên liệu thử để đo mức tiêu thụ nhiên liệu

Các thông số của cân gồm Model CM 30kg Gram; hãng sản xuất Gramscal Tây Ban Nha; điện áp 6V; độ chính xác 1g; kích thước đĩa cân 220 mm x 310

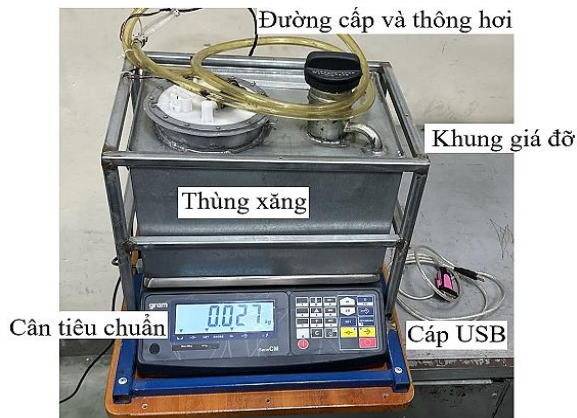
mm; trọng lượng cân 3,8 kg; nhiệt độ làm việc -5°C đến 40°C ; thời gian ổn định cân 3s. Hình ảnh cân nêu trên hình 4.6.



Hình 4.6. Cân điện tử sử dụng trong thí nghiệm

b) Chế tạo thùng nhiên liệu thử, khung giá và lắp đặt cân điện tử

Thùng nhiên liệu thử có kết cấu bằng thép mỏng dày 0,7 mm, hình khối chữ nhật. Hai bộ phận quan trọng được chế tạo đặc biệt gồm cổ ống và nắp cấp xăng giữ nguyên kết cấu của xe đảm bảo xăng không bị bay hơi. Trong thân bình có các tấm mỏng xếp hình chữ H dạng cánh để xăng không bị “tạo sóng” mạnh do ảnh hưởng của dao động và giảm sự gia tăng trọng lượng quán tính của khối chất lỏng. Cân điện tử được đặt trong khung thép chắc chắn không bị di chuyển và rung lắc. Kích thước của khung 450x360x360 mm đủ để trực tiếp trong xe thí nghiệm. Thể tích thùng xăng thử chứa 20 lít nhiên liệu, đảm bảo yêu cầu nhỏ hơn 60% thùng nhiên liệu của xe. Cân điện tử, thùng nhiên liệu thử và khung giá tạo nên cụm cân nhiên liệu nêu trên hình 4.7. Trọng lượng cả cụm khi chứa đầy nhiên liệu là 16,8 kg. Trọng lượng này nhỏ so với trọng lượng xe nên không ảnh hưởng đến kết quả của thí nghiệm.



Hình 4.7. Cụm cân điện tử

c) Cáp USB kết nối

Kết nối từ cân điện tử với máy tính Laptop bằng cáp USB RS232 cổng Com, dài 1.8m Z-Tek ZE533A có chiều dài 1.8m, sử dụng con chip FTDI FT232, hình ảnh bộ cáp nêu trên hình 4.8.



Hình 4.8. Cáp nối RS232 nối cân điện tử với máy tính

d) Phần mềm đọc dữ liệu

Phần mềm gồm ba chức năng chính:

- Hiển thị thời gian thực: sử dụng TextBlock và GroupBox để hiển thị từng thông số từ chuỗi dữ liệu nhận được.
- Cài đặt hệ số: cho phép người dùng cấu hình các tham số chuyển đổi tín hiệu (số răng cảm biến, bán kính bánh xe).
- Xem và xuất dữ liệu: hiển thị dữ liệu đã lưu bằng DataGridView, hỗ trợ phân trang, lọc theo thời gian và xuất Excel

Tín hiệu ra của cân đã được chính xác hóa từ nhà chế tạo cân và đã được dán tem kiểm tra xuất xưởng. Kết quả dạng màn hình số hoặc bảng số liệu chi tiết. Trên hình 4.9 là giao diện phần mềm đọc dữ liệu với kết quả dạng bảng số dữ liệu theo thời gian thực.

Dữ Liệu Hiện Tại		
Vận tốc xe 000.0 km/h	Khối lượng 00.000 kg	Tốc độ động cơ 1 0000 v/p
Áp lực 00.000 kg	Bướm ga 000 %	Tốc độ động cơ 2 0000 v/p

Bảng Dữ Liệu					
Thời gian	Vận tốc xe (km/h)	Khối lượng (kg)	Áp lực (kg)	Bướm ga (%)	Tốc độ động cơ 1 (v/p)
2025-01-01 21:33:32.089	0	99.999	0.004	0	834
2025-01-01 21:33:32.124	0	99.999	0.004	0	834
2025-01-01 21:33:32.145	0	99.999	0.005	0	832
2025-01-01 21:33:32.534	0	99.999	0.005	0	832
2025-01-01 21:33:32.602	0	99.999	0.005	0	843
2025-01-01 21:33:32.975	0	99.999	0.005	0	843
2025-01-01 21:33:33.042	0	99.999	0.005	0	843
2025-01-01 21:33:33.058	0	99.999	0	0	852
2025-01-01 21:33:33.422	0	99.999	0	0	852
2025-01-01 21:33:33.459	0	99.999	0	0	852
2025-01-01 21:33:33.497	0	99.999	0	0	850
2025-01-01 21:33:33.861	0	99.999	0	0	850
2025-01-01 21:33:33.876	0	99.999	0	0	850
2025-01-01 21:33:33.892	0	99.999	0	0	850
2025-01-01 21:33:33.907	0	99.999	0	0	850
2025-01-01 21:33:33.923	0	99.999	0	0	850
2025-01-01 21:33:34.309	0	99.999	0	0	850
2025-01-01 21:33:34.357	0	99.999	0	0	850
2025-01-01 21:33:34.374	0	99.999	0	0	855
2025-01-01 21:33:34.746	0	99.999	0	0	855
2025-01-01 21:33:34.804	0	99.999	0	0	855

Hình 4.9. Giao diện phần mềm cân điện tử

+ Giao diện chính – hiển thị dữ liệu thời gian thực:

– Toàn bộ dữ liệu cảm biến gồm: vận tốc, áp suất, khối lượng, bướm ga, tốc độ động cơ 1 và 2 và 2 dòng điện áp được hiển thị trực tiếp và rõ ràng.

– Giá trị được cập nhật liên tục mỗi giây, thể hiện tính ổn định và khả năng phản hồi của hệ thống

+ Môi trường thực nghiệm:

Phần mềm được chạy thử nghiệm trên máy tính có cấu hình:

– Hệ điều hành: Windows 10/11 64-bit;

– Visual Studio 2022, NET 6.0;

– Thiết bị kết nối: Vi điều khiển + cảm biến thực tế.

Dữ liệu được truyền liên tục từ thiết bị cảm biến về máy tính qua cổng COM với tốc độ baud 9600bps.

+ Giao diện bảng dữ liệu:

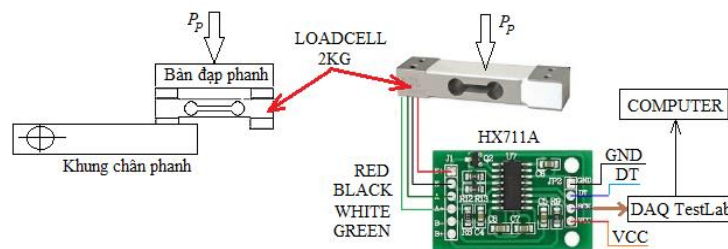
– Cho phép xem lại dữ liệu đã ghi.

- Hỗ trợ lọc dữ liệu theo khoảng thời gian (giờ + ngày).
- Có thể xuất toàn bộ dữ liệu hoặc theo thời gian cụ thể ra Excel (*.xlsx).
- Có thể xoá dữ liệu theo lệnh người dùng: "xoá toàn bộ" hoặc "xoá theo khoảng thời gian".

e) Giao tiếp xác định số lần đạp phanh

Mạch giao tiếp xác định số lần đạp phanh bằng cảm biến loadcell 2,0 kg lắp trực tiếp lên bàn đạp. Tín hiệu điện áp từ cầu whistone của loadcell được mạch chuyển đổi HX711A lập trình chuyển sang bộ đo ghi dữ liệu DAQ và đọc trên màn hình máy tính dạng tín hiệu số theo thời gian. Sau khi phân tích FFT chuyển dữ liệu sang miền tần số để xác định số lần đạp phanh trong toàn bộ quãng đường xe chạy thí nghiệm.

Sơ đồ mạch giao tiếp xác định số lần đạp phanh nêu trên hình 4.10.

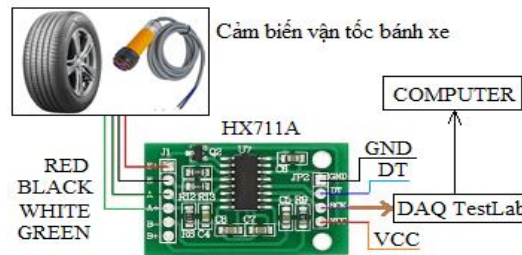


Hình 4.10. Sơ đồ mạch đếm số lần đạp phanh

f) Giao tiếp xác định số vòng quay bánh xe

Mạch giao tiếp xác định số vòng quay bánh xe tương tự mạch xác định số lần đạp phanh. Cảm biến khoảng cách lắp cố định trên cụm nắp phanh để đọc tín hiệu quay trên tấm phản quang lắp trên mâm bánh xe. Tín hiệu điện áp từ cảm biến được mạch chuyển đổi HX711A lập trình chuyển sang bộ đo ghi dữ liệu DAQ và đọc trên màn hình máy tính dạng tín hiệu số theo thời gian. Sau khi phân tích FFT chuyển dữ liệu sang miền tần số để xác định số vòng quay bánh xe và chuyển sang vận tốc góc bánh xe để chuẩn hóa số liệu thành vận tốc xe tương ứng trong toàn bộ quãng đường xe chạy thí nghiệm.

Sơ đồ mạch giao tiếp xác định số vòng quay bánh xe nêu trên hình 4.11.



Hình 4.11. Sơ đồ mạch vận tốc góc bánh xe

Mạch chuyển đổi HX711A với độ phân giải ADC 24bit sử dụng để đọc giá trị điện trở thay đổi từ cảm biến Loadcell và chuyển sang giao tiếp 2 dây để gửi dữ liệu về vi điều khiển. Thông số kỹ thuật mạch: Điện áp 2,7~5VDC; $I < 1,5$ mA; độ phân giải 24 bit ADC; tốc độ lấy mẫu 10–80 SPS; kích thước (DxRxC): 38x21x10 mm.

g) Đồng bộ dữ liệu theo thời gian thực.

+ Nguồn dữ liệu đầu vào: Cổng Serial (COM).

Thiết bị phần cứng bên ngoài (vi xử lý) truyền dữ liệu liên tục thông qua giao tiếp Serial (giao tiếp tuần tự).

Dữ liệu này được truyền theo định dạng đặc biệt: gói dữ liệu bắt đầu bằng * và kết thúc bằng #, chứa 49 ký tự dữ liệu.

+ Tiếp nhận và xử lý song song bằng luồng UI.

Sử dụng sự kiện SerialPort.DataReceived để tiếp nhận dữ liệu khi có dữ liệu mới từ cổng Serial.

Trong sự kiện đó:

Buffer được kiểm tra để đảm bảo một gói dữ liệu đầy đủ đã đến (tức là có * và # và độ dài đúng).

Khi nhận được, chương trình gọi ProcessReceivedData để phân tích gói dữ liệu này.

+ Cơ chế hoạt động của SerialPort.DataReceived:

Khi mở cổng Serial (dùng P.Open()), hệ thống sẽ bắt đầu lắng nghe dữ liệu từ thiết bị gửi đến qua COM.

Ngay khi có bất kỳ chuỗi dữ liệu nào đến, sự kiện P.DataReceived += SerialPort_DataReceived; sẽ được kích hoạt.

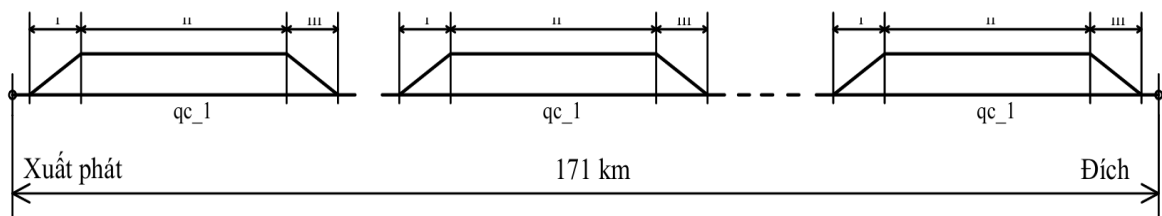
Hệ thống sẽ chạy SerialPort_DataReceived(...) trong một luồng riêng (non–UI thread).

4.4. QUÁ TRÌNH THÍ NGHIỆM

4.4.1. Xây dựng lộ trình xe chạy thí nghiệm

Lộ trình xe chạy thí nghiệm là tập hợp các chu trình xe chạy. Mỗi chu trình xe chạy có các loại đường (1) đường giao thông đô thị, trong đó có đường trong thành phố (nội đô), đường ngoài thành phố (ngoại đô), (2) đường liên tỉnh, (3) đường cao tốc, (4) đường nông thôn.

Chu trình xe chạy ở Việt Nam có những đặc điểm khác với các chu trình hiện có trên thế giới. Những điểm khác cơ bản gồm: Loại đường, tình trạng giao thông, điều kiện thổ nhưỡng, dạng phân bố dân cư, đô thị và cả văn hóa phong cách giao thông. Chu trình xe chạy có thể được tập hợp bởi một số chu trình con tùy theo thực tế giao thông và điều kiện vận hành và thực hiện theo 3 giai đoạn: giai đoạn I tăng tốc; giai đoạn II chạy xe ổn định và giai đoạn III giảm tốc để phù hợp với mô phỏng như hình 4.12, trong đó qc_1, qc_2, \dots, qc_n là những chu trình con, với n là số chu trình con.



Hình 4.12. Chu trình xe chạy trong thí nghiệm

Trong thí nghiệm xác định trực tiếp lượng tiêu thụ nhiên liệu nên NCS áp

dụng thời gian nghỉ tương đương với những giai đoạn khởi động nguội trong chu trình con FTP75 khi đánh giá lượng khí thải khi xe đỗ, động cơ tắt máy để nguội. Thời gian dừng nghỉ trên đường ước tính bằng $6,8 - 4,39 = 2,41$ giờ được xây dựng trên nền tảng tổng hợp các phương pháp đánh giá:

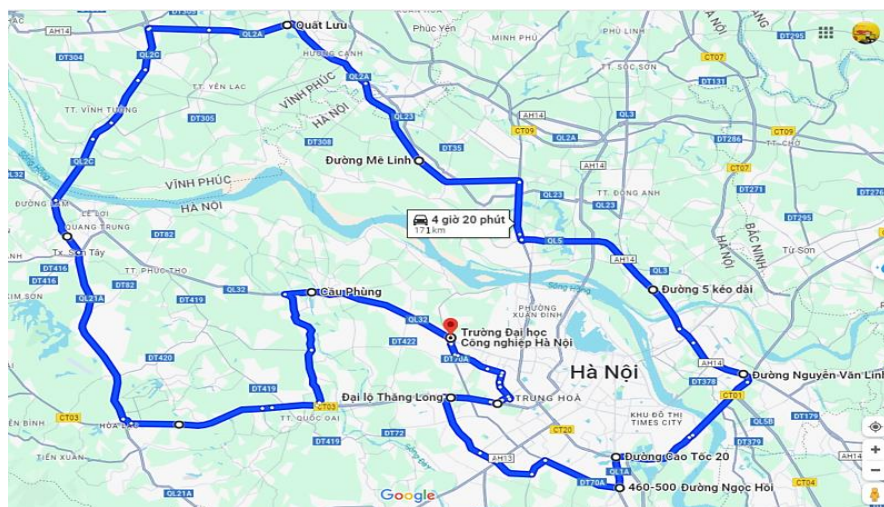
– Phương pháp EUDC Châu Âu có 4 lần nghỉ với chu trình kết hợp MVEG-95 lặp lại ECE bốn lần (một lần khởi động nguội khi xe khởi hành) và lái xe trong đô thị (ECE) có bổ sung thêm một phần ngoài đô thị.

– Phương pháp của Nhật Bản với 10–15 lần dừng nghỉ chế độ ba lần lặp lại của một chu trình lái xe trong đô thị cộng với một phần ngoài đô thị, tổng số là 10–15 chu trình [91].

Số lần lặp với những lộ trình xe chạy thí nghiệm đã thực hiện đảm bảo cho số liệu ổn định, gồm:

Lộ trình xe chạy thí nghiệm thứ nhất:

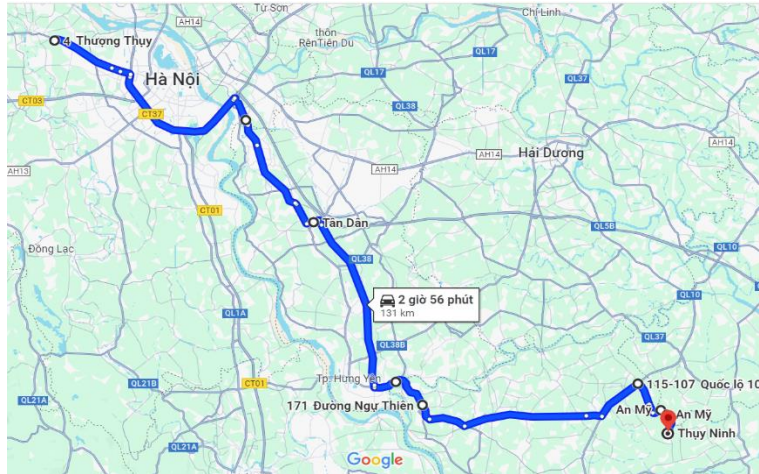
Các chu trình trong lộ trình xe chạy thí nghiệm thứ nhất ngày 07/04/2024 là loại đường hỗn hợp của đường nội thành, đường liên tỉnh (đường quốc lộ) và đường cao tốc, trong đó hạn chế tối đa chạy trên đường cao tốc với chiều dài 171 km, điểm xuất phát và kết thúc tại ĐH Công Nghiệp Hà Nội – 298 đường Cầu Diễn – Hà Nội. nêu trong hình 4.13.



Hình 4.13. Lộ trình xe chạy thí nghiệm thứ nhất

Lộ trình xe chạy thí nghiệm thứ hai:

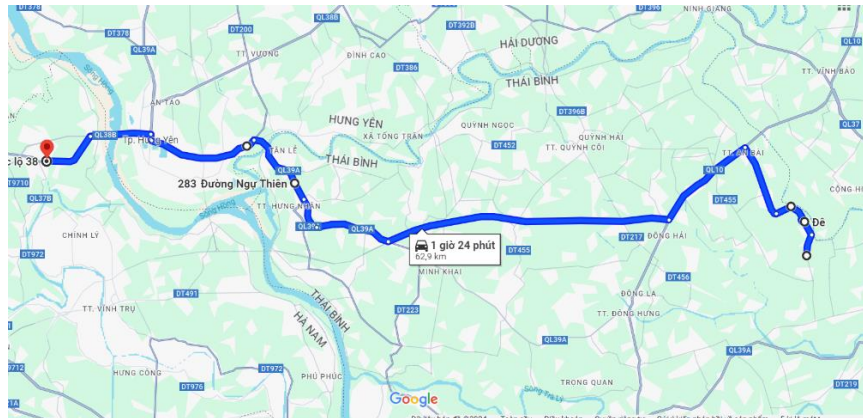
Các chu trình trong lộ trình xe chạy thí nghiệm thứ hai ngày 03/08/2024 có đường hỗn hợp, đường nội thành, đường liên tỉnh và đường cao tốc, trong đó hạn chế tối đa chạy trên đường cao tốc với chiều dài 131 km, điểm xuất phát tại Thượng Thụy, Hà Nội, kết thúc tại Thụy Ninh, Thái Bình, hình 4.14.



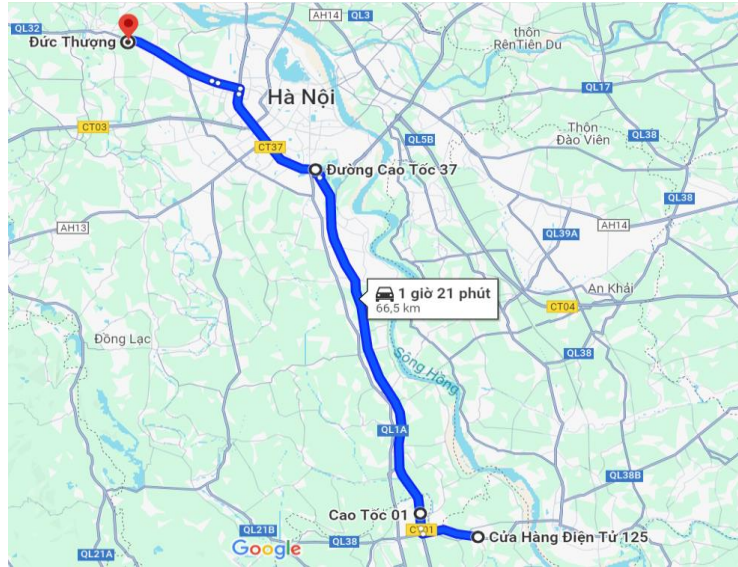
Hình 4.14. Lộ trình xe chạy thí nghiệm thứ hai

Lộ trình xe chạy thí nghiệm thứ ba:

Các chu trình trong lộ trình xe chạy thí nghiệm thứ ba thực hiện vào ngày 04/08/2024 có mặt đường hỗn hợp, đường nội thành, đường liên tỉnh và đường cao tốc, trong đó hạn chế tối đa chạy trên đường cao tốc với chiều dài đoạn 1 là 62,9 km, điểm xuất phát tại Thụy Ninh, Thái Bình thể hiện trên hình 4.15.a và đoạn 2 dài 66,5 km, từ quốc lộ 38 đến Hà Nội thể hiện trên hình 4.15.b.



a) Đoạn 1



b) Đoạn 2

Hình 4.15. Lộ trình xe chạy thí nghiệm thứ ba

4.4.2. Quy trình thí nghiệm

Bước 1: Chuẩn bị dụng cụ và thiết bị thí nghiệm

– Hệ thống gồm xe Vios sản xuất năm 2009 đã được bảo dưỡng định kỳ, vệ sinh bugi, lọc gió và thay dầu bôi trơn; bộ thu thập dữ liệu Kisster đặt trong khoang cabin, kết nối với các cảm biến thông qua các đầu dây đo tốc độ động cơ, vận tốc xe, độ mở bướm ga, lực đạp phanh và cân nhiên liệu, đồng thời kết nối với máy tính để thu thập và lưu trữ dữ liệu. Hệ thống còn bao gồm bình nhiên liệu phụ, cân điện tử có độ chính xác cao, thiết bị đo quãng đường (GPS hoặc đồng hồ công tơ mét), đồng hồ bấm giờ, sổ ghi chép và bảng theo dõi.



Hình 4.16. Lắp đặt thiết bị thí nghiệm

Khung giá, cân và thùng nhiên liệu được lắp tại cốp sau, cố định với khung vỏ xe bằng thanh giằng và vít; hệ thống đo nhiên liệu được kết nối với hệ thống nhiên liệu của xe thông qua các cút nối và van khóa. Trong suốt quá trình thí nghiệm, luôn có 01 kỹ thuật viên đi cùng để hỗ trợ vận hành hệ thống

Bước 2: Cài đặt thông số thí nghiệm

Bán kính bánh xe và số răng để đo vận tốc xe.

Hình 4.17. Cài đặt thông số kỹ thuật

Bước 3: Tiến hành thí nghiệm

Với 05 chu trình đã lựa chọn, trong quá trình thí nghiệm để tránh ảnh hưởng nhiệt độ môi trường do hệ thống điều hoà hoạt động lúc ngắt lúc bật nên không bật điều hoà khi thí nghiệm.

Bật máy tính → mở giao diện Kisster → chọn cổng → kết nối

Hình 4.18. Kết nối phần mềm Kisster

Khi chuẩn bị chạy thí nghiệm thì ấn ghi dữ liệu để bắt đầu ghi dữ liệu của chu trình xe chạy gồm: Vận tốc, độ mở bướm ga, khối lượng bình nhiên liệu.

Kết thúc thí nghiệm thì ấn nút dừng ghi dữ liệu.

Bước 4: Nhận kết quả thí nghiệm

Sau khi kết thúc chạy thí nghiệm ấn nút dừng ghi dữ liệu thì toàn bộ dữ liệu sau sẽ không lưu vào phần mềm và không ảnh hưởng đến số liệu kết quả thí nghiệm.

Tiến hành xuất kết quả thí nghiệm sang file Excel để lưu vào máy tính. Đó là kết quả thí nghiệm của chu trình con.

Tiến hành tương tự với các chu trình con tiếp theo.

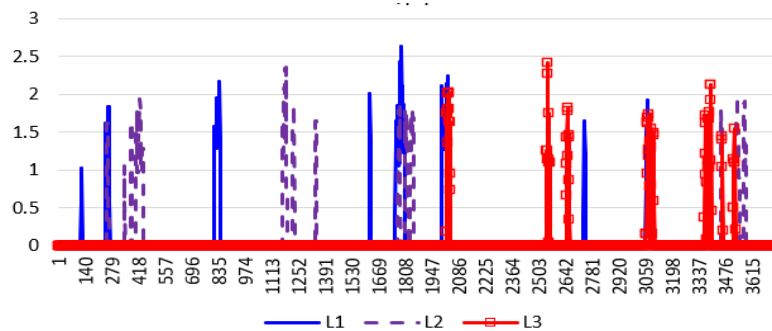
4.4.3. Xác lập điều kiện dữ liệu ổn định

Sử dụng dữ liệu giống nhau của lực bàn đạp phanh và độ mở bướm ga của những lần lái cùng một xe trên 3 lộ trình xe chạy thí nghiệm.

a) Lực bàn đạp phanh

Trên các lộ trình xe chạy thí nghiệm sẽ chọn ra những điều kiện gần nhau như sự xuất hiện đèn giao thông, lưu lượng người và các phương tiện khác trên đường, đường cua, độ dốc, trạm xăng...

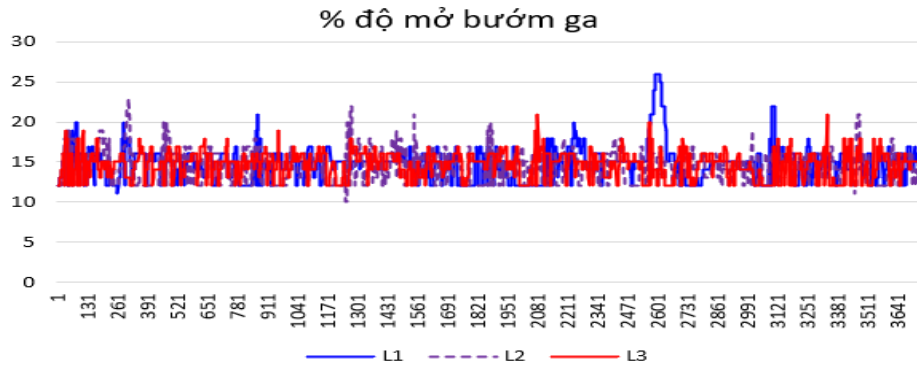
Trên đồ thị hình 4.19 cho thấy độ lớn lực trên bàn đạp phanh có các đỉnh xung là số liệu lựa chọn của số lần đạp phanh.



Hình 4.19. Đồ thị lực bàn đạp phanh trong 3 lộ trình

b) Phần trăm độ mở bướm ga

Trên đồ thị hình 4.20 biểu thị phần trăm độ mở bướm ga có thể gần đúng xác định tỷ lệ phần trăm bàn đạp chân ga của người lái xe. Trong 3 lộ trình xe chạy thí nghiệm lần lượt các giá trị tỷ lệ % bàn đạp chân ga L1 = 14,76628(%), L2 14,45064 (%), L3 14,57764 (%).



Hình 4.20. Đồ thị phần trăm độ mở bướm ga trong 3 lộ trình

Trạng thái của người lái xe và mức phân phối tiêu thụ nhiên liệu có quan hệ thực tế với nhau. Dựa vào các dữ liệu đo được, sử dụng thống kê cho thấy mối quan hệ ở các trạng thái dừng, tăng tốc, giảm tốc và chạy ổn định là những yêu cầu vận hành bắt buộc và kỹ năng cơ bản của người lái xe. Khi dừng xe duy trì nổ máy nên vẫn có tiêu thụ nhiên liệu. Ở trạng thái ổn định tương ứng với vận tốc trung bình khoảng 40 km/h được xác định làm dữ liệu tiêu thụ nhiên liệu tham chiếu.

4.5. THU THẬP VÀ XỬ LÝ KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

4.5.1. Chuẩn bị các file dữ liệu

Các thông số đầu vào, thông số đầu ra, thông số xe, thiết bị, ... được cập nhật trong phần mềm tạo thành những tệp dữ liệu cùng với vận tốc xe thí nghiệm. Trong tệp chứa các file dữ liệu con $f(i)$, $i = 1, 2, 3, \dots, n$, với i là số thứ tự những file dữ liệu, n là file dữ liệu cuối của tệp.

Việc cài đặt các thông số đầu vào theo cấu trúc của phần mềm đo ghi dữ

liệu.

4.5.2. Quá trình thực hiện

Ở mỗi file kết quả nhận được thể hiện được điểm đầu và điểm cuối, không phân biệt đường đô thị hoặc đường cao tốc hoặc đường nông thôn.

Khối lượng nhiên liệu ban đầu được đặt làm chuẩn ban đầu theo kg trên màn hình máy cân và trên phần mềm tương ứng của máy đo.

Cảm biến đo mức đạp ga được sử dụng loại cảm biến bướm ga hoạt động theo nguyên lý thay đổi điện trở góc

Cảm biến đo số lần đạp phanh được sử dụng loại cảm biến lực gắn trên mặt bàn đạp phanh hoạt động theo nguyên lý thay đổi điện trở mặt.

Mỗi chu trình sẽ có một file kết quả theo, tập hợp kết quả các chu trình là kết quả của lộ trình xe chạy.

4.5.3. Kết quả thí nghiệm

4.5.3.1. Bảng dữ liệu theo thời gian thực

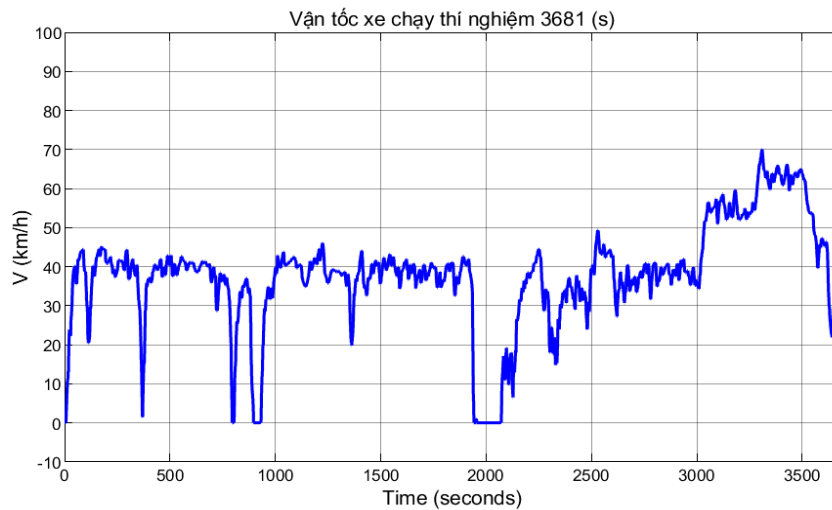
Phần mềm Kisster ghi dữ liệu dạng bảng Excel.xlsx đã được lập trình theo phép đo thực tế để chuẩn đầu đo (calibration) của quá trình thu thập dữ liệu ban đầu. Đơn vị (km/h) đối với vận tốc xe chạy, kg đối với áp lực bàn đạp phanh, kg đối với khối lượng nhiên liệu cần đo, (%) đối với độ mở bướm ga thông qua bàn đạp chân ga. Dạng file vận tốc xe chạy thực tế trên phần mềm thu thập nêu trên hình 4.21.

1	Thời gian	Vận tốc (km/h)	Áp lực (kg)	Khối lượng (kg)	Bướm ga (%)
30	2024-04-07 05:37:25.016	5.9	0	11.668	16
31	2024-04-07 05:37:25.887	5.9	0	11.668	16
32	2024-04-07 05:37:25.940	8.2	0	11.505	12
33	2024-04-07 05:37:26.803	8.2	0	11.505	12
34	2024-04-07 05:37:26.866	10	0	11.319	16
35	2024-04-07 05:37:27.720	10	0	11.319	16
36	2024-04-07 05:37:27.785	10	0	11.446	18
37	2024-04-07 05:37:28.644	10	0	11.446	18
38	2024-04-07 05:37:28.704	10.3	0	11.416	18
39	2024-04-07 05:37:29.596	12.7	0	11.277	19
40	2024-04-07 05:37:29.634	12.7	0	11.277	19
41	2024-04-07 05:37:30.493	12.7	0	11.277	19

Hình 4.21. Dạng bảng kết quả File dữ liệu theo thời gian thực

4.5.3.2. Vận tốc xe trong thí nghiệm theo thời gian thực

Vận tốc xe chạy trong thí nghiệm theo thời gian thực của mỗi chu trình sẽ có ảnh hưởng bởi nhiễu ở tần số thấp: dao động ô tô, dao động của môi trường xung quanh, tiếng ồn, máy đo, thùng nhiên liệu... Sử dụng biến đổi Fourier từ miền thời gian sang miền tần số loại bỏ các thành phần tần số thấp trong miền tần số và biến đổi ngược lại về miền thời gian ta nhận được kết quả vận tốc xe chạy như đồ thị hình 4.22.



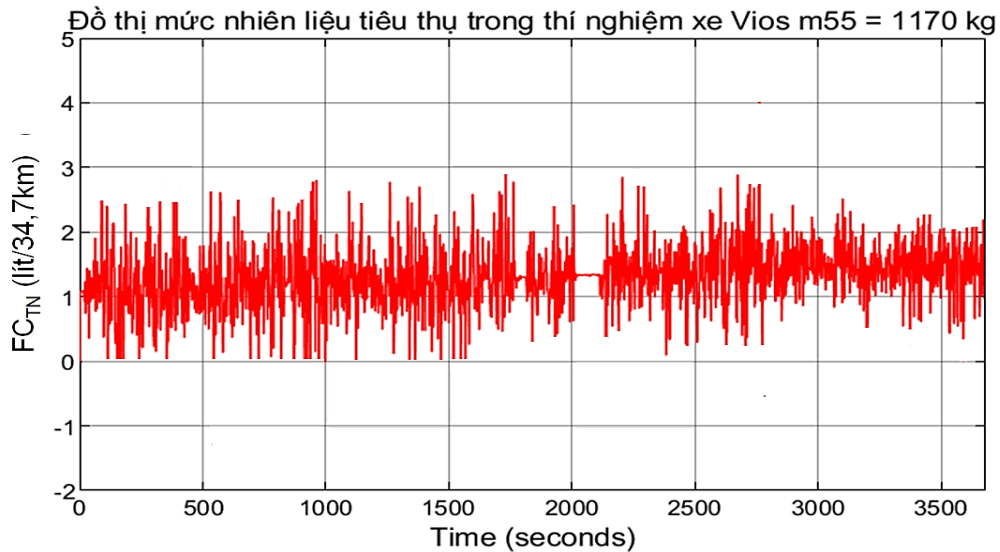
Hình 4.22. Đồ thị vận tốc xe chạy thí nghiệm

Trên đồ thị vận tốc xe thí nghiệm ở chu trình 1 cho thấy thời gian chạy thí nghiệm là 3681 s (~61 phút), dải vận tốc 0~70 km/h, đoạn từ 0~900 s thể hiện đường đô thị khi xuất hiện các điểm vận tốc về 0 km/h đặc trưng bởi dừng đèn đỏ; đoạn từ ~900~2000 s vận tốc duy trì quanh 35~45 km/h, đặc trưng đường giao thông liên tỉnh; giai đoạn trên dưới 2000 s xuất hiện đoạn vận tốc bằng 0 km/h, đây là khoảng thời gian dừng xe theo kịch bản mô phỏng sự cố; giai đoạn ~3000~3500 s, vận tốc tăng lên: 50~70 km/h đặc trưng bởi đường ngoài đô thị, cao tốc. Chu trình có tính biến thiên cao, phản ánh đúng điều kiện giao thông hỗn hợp tại Việt Nam là cơ sở đầu vào đáng tin cậy để đánh giá mức tiêu thụ nhiên liệu trong mô phỏng và vận hành thực tế.

4.5.3.3. Giá trị đo mức tiêu thụ nhiên liệu theo thời gian thực

Kết quả đo mức FC mỗi chu trình xe chạy thí nghiệm bao gồm thời gian, vận tốc, mức bàn đạp chân ga, lực chân phanh.

Tập hợp kết quả mức FC của tổng các chu trình khi đạt được tổng số km yêu cầu là kết quả mức tiêu thụ nhiên liệu của xe trên lộ trình xe chạy thí nghiệm. Trên đồ thị hình 4.23 là kết quả đo của xe thí nghiệm m55 = 1170 kg với chu trình 1 làm đại diện từ Đại học Công Nghiệp Hà Nội đến Đồng Trúc (cao tốc Láng Hòa Lạc) với số Km xe chạy là 34,7 km. Đồ thị FC_{TN} thể hiện mức tăng tiêu thụ nhiên liệu trên chu trình thí nghiệm khi xe chạy. Khi xe chạy thì mức nhiên liệu trên cân sẽ giảm xuống do động cơ tiêu thụ, thông qua biến đổi tính ra được lượng xăng tiêu thụ, cho kết quả tiêu thụ nhiên liệu $FC = 1,057$ kg/34,7 km, đổi ra lít thì được $FC_{stat} = 1,47$ (lít/34,7 km) = 4,2 (lít/100 km).



Hình 4.23. Mức tiêu thụ nhiên liệu đo được trên xe thí nghiệm

4.6. ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

4.6.1. Xây dựng phương trình hồi quy thực nghiệm

Phương trình hồi quy tổng quát có dạng phương trình (4.1) mô tả ảnh hưởng giữa các thông số mô hình FC_{stat} [92].

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \dots + \beta_n x_n + e; \quad n = 1, 2, \dots, 6 \quad (4.1)$$

Trong đó:

Biến phụ thuộc Y là mức tiêu thụ nhiên liệu FC_{stat} , là biến đầu ra biểu diễn bởi hàm y .

Biến độc lập X là những yếu tố ảnh hưởng đến y là $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ gồm:

x_1 : Vận tốc xe $V(\text{km/h})$;

x_2 : Lực cản lăn, cản dốc liên quan đến khối lượng xe m_i kg;

x_3 : Lực cản khí động học liên quan đến hình dáng kích thước xe P_w kg;

x_4 : Mức tiêu hao nhiên liệu không tải của động cơ g_e (g/kWh);

x_5 : Lực bàn đạp phanh (p_{cp});

x_6 : Phần trăm bàn đạp ga (p_{ga});

Trong đó $\beta_0; \beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_n$ là các hệ số hồi quy cần được xác định, nó mô tả tác động trung bình của các biến; e là thành phần nhiễu.

Để xác định biến phụ thuộc Y và biến độc lập X cần đảm bảo hai yêu cầu:

- Xác định đúng biến phụ thuộc Y và biến độc lập X ;
- Đảm bảo dữ liệu đầy đủ, không có giá trị bị thiếu, và được thu thập chính xác.

Giả thiết

– Mức tiêu hao nhiên liệu riêng g_e là hằng số và đã được cộng thêm vào giá trị của hệ số β_0 ;

– Các điều kiện kỹ năng lái xe gồm x_5 là lực bàn đạp phanh (p_{cp}) và x_6 là phần trăm độ mở bướm ga (p_{ga}) ổn định;

– Điều kiện môi trường về nhiệt độ, áp suất ở độ cao so với mực nước biển là ổn định nên sẽ bỏ qua trong tính toán.

Từ bảng dữ liệu thực tế thu thập được hình 4.21 ở trên cùng kết quả mô phỏng ta có: Giá trị của Y, x_1 từ kết quả đo thực tế; giá trị của x_2, x_3 từ mô phỏng; các giá trị dữ liệu tổng hợp sẽ được sử dụng trong tính toán cùng các giá trị hệ số hồi quy $\beta_0; \beta_1, \beta_2, \beta_3$ là các giá trị trung bình của mỗi dữ liệu, bảng 4.1.

Bảng 4.1. Giá trị của Y và các yếu tố ảnh hưởng

FC_{stat} (Lít/100 km)	$V(\text{km/h})$	Khối lượng m55 = 1170 kg: Lực cản (P_f+P_i) (N)	Hình dáng khí động học: Lực cản $P_w(\text{N})$
Y	x_1	x_2	x_3
2,371818117	13,6	286,6228783	14,6212325
2,371818043	13,59999914	286,6228616	14,62123065
2,371817797	13,59999828	286,622845	14,6212288
...
$\beta_0 = 5,26$	$\beta_1 = 34,7$	$\beta_2 = 1009,03$	$\beta_3 = 115,5$

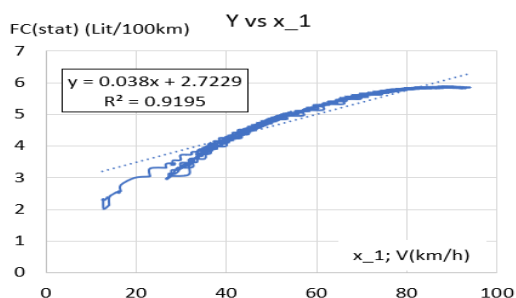
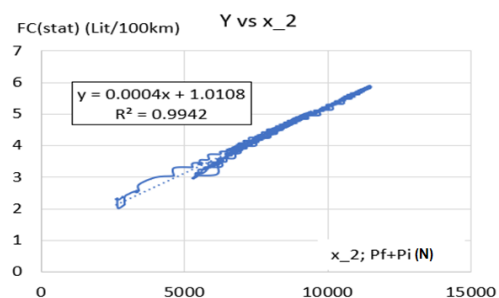
Từ đó ta nhận được phương trình hồi quy thực tế có dạng (4.2)

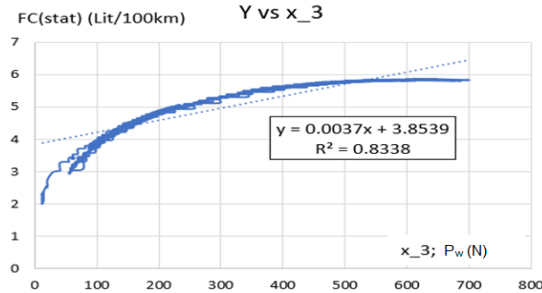
$$y = 5,26 + 34,7x_1 + 1009,03x_2 + 115,5x_3 \quad (4.2)$$

4.6.2. Đánh giá độ tin cậy của các hệ số hồi quy

Sử dụng hệ số xác định R^2 để đánh giá mức độ phù hợp của mô hình, khi R^2 càng gần 1 thì mô hình càng phù hợp, các hệ số hồi quy càng đảm bảo độ tin cậy. Vẽ đồ thị phân tán (scatter plot) để quan sát mối quan hệ giữa hai yếu tố độc lập FC_{stat} với x_1, x_2, x_3 để kiểm tra xem mức độ tuyến tính của quan hệ. Đồ thị phân tán của mỗi quan hệ được nêu trên hình 4.24

Quan sát trên cho thấy các quan hệ của yếu tố đầu ra Y với ba yếu tố đầu vào là tuyến tính. Hệ số xác định của quan hệ Y với x_1 có $R^2 = 0,9195$, hình 4.24 a của quan hệ Y với x_2 có $R^2 = 0,9942$, hình 4.24 b và của quan hệ Y với x_3 có $R^2 = 0,8338$, hình 4.24 c. Như vậy các hệ số hồi quy trong phương trình (4.2) có độ tin cậy cao, điều này đảm bảo cho kết quả khảo sát đáng tin cậy.

a) Y vs x_1 b) Y vs x_2

c) Y vs x_3

Hình 4.24. Đồ thị quan hệ xác định R^2 của FC_{stat} với x_1 , x_2 , x_3

4.6.3. Phân tích ảnh hưởng của các yếu tố đến mức tiêu thụ nhiên liệu

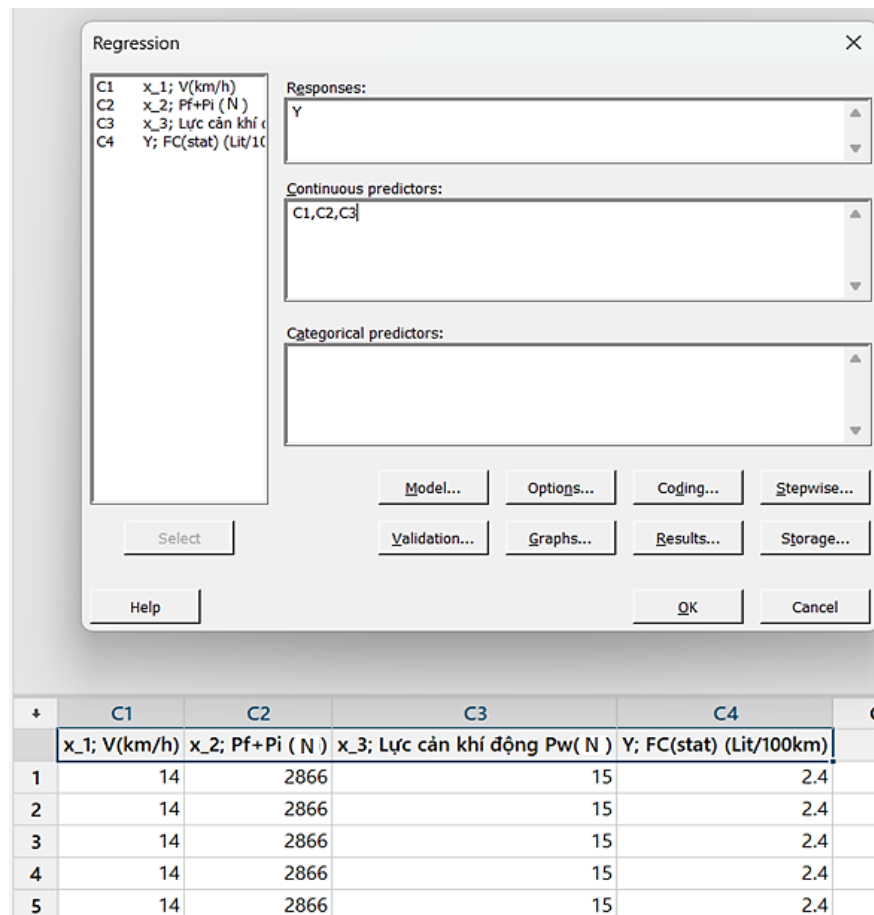
4.6.3.1. Lựa chọn phần mềm phân tích

Dữ liệu tính toán và thu thập được sẽ có dung lượng lớn (big data) và có độ phức tạp cao nên cần công cụ phần mềm mạnh. Dữ liệu lớn được tạo ra từ các cảm biến có tần suất lấy mẫu cao đặt tại nhiều vị trí tương ứng với các yếu tố ảnh hưởng [93]. Sử dụng các cảm biến của bộ đo ghi có độ chính xác 0.001/s tương ứng với 3 điểm đo/s. Thời gian của mỗi chu trình $3681(s) \cdot 3 = 11043$ điểm đo. Với cách tính dung lượng = (Tần số lấy mẫu) x (Độ bit) x (Thời gian ghi), giả thiết sử dụng máy tính có độ bit = 64 thì dung lượng một file ghi cho một chu trình sẽ là $11043 \cdot 64 \cdot 3681 = 2.60155E+9$ bit và chia cho 8 sẽ có số byte là 325194264 byte ~0.3 (GB).

Với mỗi tập dữ liệu kết quả theo phương trình hồi quy (4.2) biểu diễn ảnh hưởng của các yếu tố đến kết quả xác định FC_{stat} . Phân tích đánh giá kết quả bằng công cụ thông thường sẽ rất khó đảm bảo mức độ đầy đủ và độ chính xác của kết quả. Trong Luận án này, NCS đã ứng dụng phần mềm Minitab phân tích ảnh hưởng của các yếu tố đến kết quả phân tích xác định mức tiêu thụ nhiên liệu FC_{stat} trên ô tô.

Sau khi nhập dữ liệu vào cột trong bảng tính (worksheet) với cột Y là biến phụ thuộc, các cột X là biến độc lập, tiến hành chạy hồi quy tuyến tính: Vào

Stat > Regression > Regression > Fit Regression Model. Chọn: Response: Biến phụ thuộc (Y). Predictors: Các biến độc lập (x_1, x_2, \dots), hình 4.25.



	C1	C2	C3	C4	C5
	x_1; V(km/h)	x_2; P _f +P _i (N)	x_3; Lực cản khí động P _w (N)	Y; FC(stat) (Lit/100km)	
1	14	2866	15	2.4	
2	14	2866	15	2.4	
3	14	2866	15	2.4	
4	14	2866	15	2.4	
5	14	2866	15	2.4	

Hình 4.25. Giao diện khởi chạy phần mềm Minitab

4.6.3.2. Ảnh hưởng của các yếu tố $x_{(i)}$ đến Y

a) Ảnh hưởng của vận tốc x_1 đến $FC_{\text{stat}} Y$

Trên hình 4.26 hiển thị thông tin kết quả phân tích trong phần mềm Minitab cho thấy hàm tương quan của yếu tố vận tốc x_1 đến yếu tố Y là hàm bậc nhất, ý nghĩa thống kê có hệ số p-value $0,993 > 0,05$ nên x_1 sẽ ảnh hưởng rất lớn đến Y.

Độ phù hợp của mô hình đảm bảo phù hợp với R-squared (R^2) = 0,7353

Hiện tượng đa cộng tuyến giữa các biến độc lập không xuất hiện do VIF = 1,00 \ll 10.

Phần dư phân bố ngẫu nhiên xung quanh trục 0 trên đồ thị Fitted Value nên không có phần dư.

Regression Equation

$$Y; FC(\text{stat}) (\text{Lit}/100\text{km}) = 0.0001 + 0.078355 x_1; V(\text{km}/\text{h})$$

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0.0001	0.0126	0.01	0.993	
$x_1; V(\text{km}/\text{h})$	0.078355	0.000003	25617.27	0.000	1.00

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	Y; FC(stat) (Lit/100km)	Fit	Resid	Std Resid
3749	19837.4	19837.2	0.2	58.96 R X

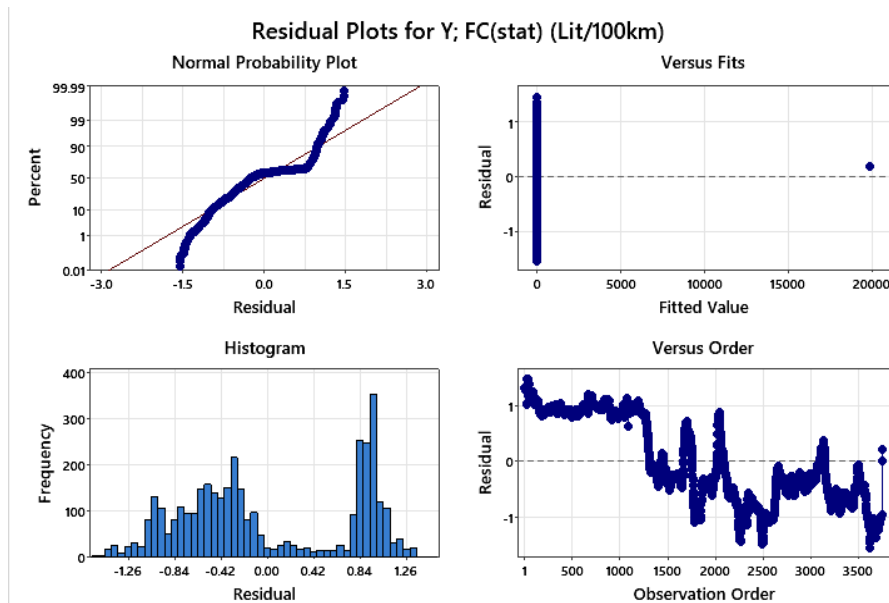
R Large residual
X Unusual X

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.774066	100.00%	100.00%	73.53%

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	393207969	393207969	6.56245E+08	0.000
$x_1; V(\text{km}/\text{h})$	1	393207969	393207969	6.56245E+08	0.000
Error	3748	2246	1		
Lack-of-Fit	237	2242	9	8247.65	0.000
Pure Error	3511	4	0		
Total	3749	393210214			



Hình 4.26. Ảnh hưởng của vận tốc x_1 đến Y

b) Ảnh hưởng của khối lượng x_2 đến $FC_{\text{stat}} Y$

Trên hình 4.27 hiển thị thông tin kết quả phân tích trong phần mềm Minitab cho thấy hàm tương quan của yếu tố khối lượng (trong thành phần của lực cản lăn và cản dốc) x_2 đến yếu tố Y là hàm bậc nhất, ý nghĩa thống kê có hệ số p-value $0,996 > 0,05$ nên x_2 sẽ ảnh hưởng rất lớn đến Y .

Độ phù hợp của mô hình đảm bảo phù hợp với R-squared (R^2) = 0,9635

Hiện tượng đa cộng tuyến giữa các biến độc lập không xuất hiện do VIF

=1,00 << 10.

Phần dư phân bố ngẫu nhiên không đều xung quanh trục 0 trên đồ thị Fitted Value nên có phần dư, các phần dư này có giá trị dương.

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	393210091	393210091	1.19238E+10	0.000
x_2; Pf+Pi (N)	1	393210091	393210091	1.19238E+10	0.000
Error	3748	124	0		
Lack-of-Fit	237	120	1	439.93	0.000
Pure Error	3511	4	0		
Total	3749	393210214			

Regression Equation

Y; FC(stat) (Lit/100km) = 0.00002 + 0.000522 x_2; Pf+Pi (N)

Coefficients

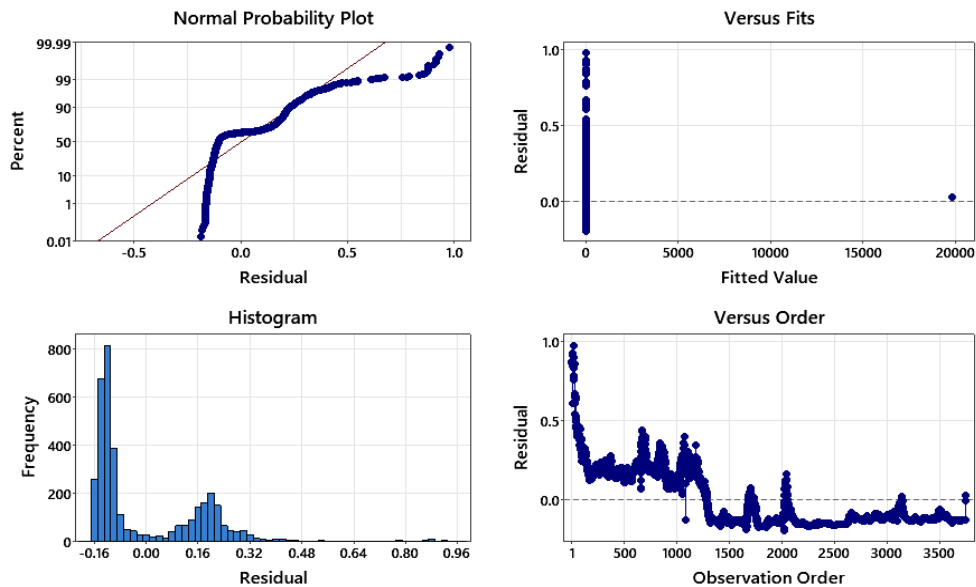
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0.00002	0.00297	0.01	0.996	
x_2; Pf+Pi (N)	0.000522	0.000000	109196.05	0.000	1.00

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.181596	100.00%	100.00%	96.35%

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	Y; FC(stat) (Lit/100km)	Fit	Resid	Std Resid
1	2.4	1.5	0.9	4.83 R
2	2.4	1.5	0.9	4.83 R



Hình 4.27. Ảnh hưởng của khối lượng x_2 đến Y

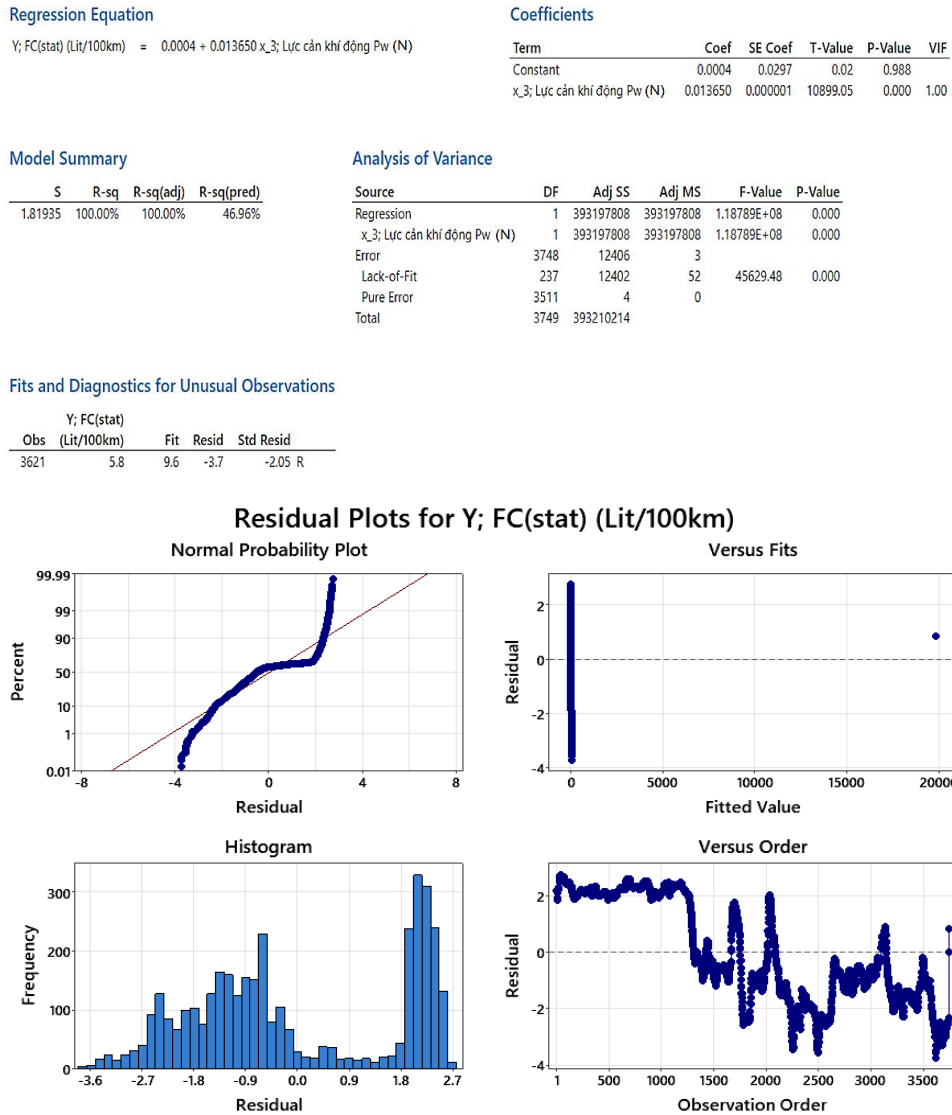
c) Ảnh hưởng của khí động học x_3 đến $FC_{stat} Y$

Trên hình 4.28 hiển thị thông tin kết quả phân tích trong phần mềm Minitab cho thấy hàm tương quan của yếu tố khí động học (hình dạng thiết kế xe) x_3 đến yếu tố Y là hàm bậc nhất, ý nghĩa thống kê có hệ số p-value $0,988 > 0,05$ nên x_3 sẽ có ảnh hưởng đến Y , nhưng nhỏ hơn x_1 và x_2 .

Độ phù hợp của mô hình đảm bảo phù hợp với R-squared (R^2) = 0,4695

Hiện tượng đa cộng tuyến giữa các biến độc lập không xuất hiện do $VIF = 1,00 \ll 10$.

Phần dư phân bố ngẫu nhiên không đều xung quanh trục 0 trên đồ thị Fitted Value nên có phần dư, các phần dư này phân bố nhiều hơn ở những giá trị âm.

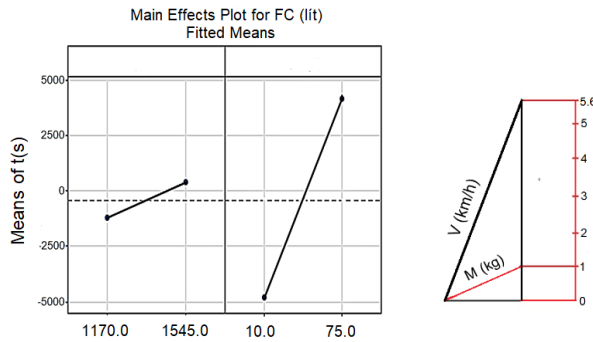


Hình 4.28. Ảnh hưởng của khí động học x_3 đến Y

Yếu tố ảnh hưởng chính được xác định định tính trên đồ thị (Main Effects Plots) hình 4.29. Hai yếu tố khối lượng và vận tốc xe được vẽ trên hai ô khác nhau, ô bên trái của đồ thị biểu diễn ảnh hưởng của biến x_1 vận tốc xe, ô bên

phải biểu diễn ảnh hưởng của biến x_2 khối lượng xe.

Nhìn trên đồ thị ta thấy độ dốc của đường vận tốc lớn hơn rất nhiều so với độ dốc đường khối lượng nên có thể nhận xét khối lượng xe và vận tốc xe chạy đều có ảnh hưởng đến mức tiêu FC_{stat} nhưng vận tốc xe V (km/h) là yếu tố ảnh hưởng chính, mức độ ảnh hưởng là 5,6 lần ảnh hưởng của khối lượng m kg. Tuy nhiên đây chỉ là đánh giá ở mức độ định tính.



Hình 4.29. Mức độ ảnh hưởng của các thông số khối lượng và vận tốc xe

4.6.4. So sánh kết quả thí nghiệm và mô phỏng

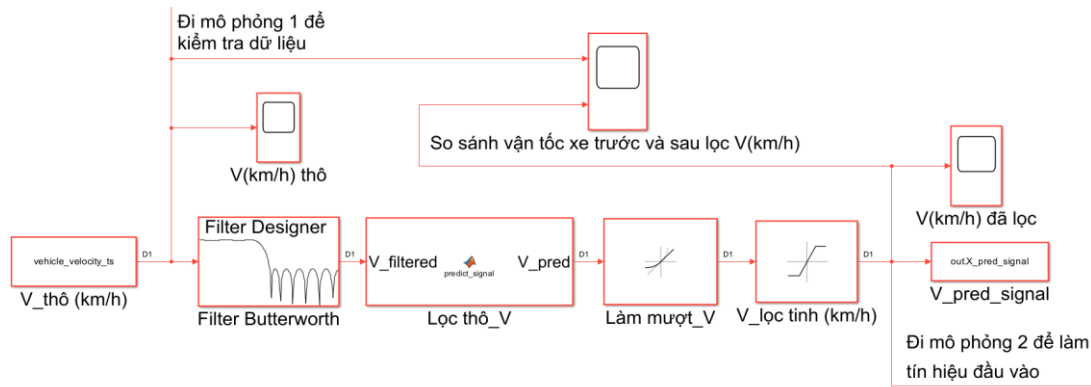
4.6.4.1. Cơ sở so sánh

Trong điều kiện cho phép của luận án, xét một đợt thí nghiệm làm đại diện, NCS lựa chọn lộ trình thí nghiệm ngày 07/4/2024 theo hình 4.13 ở trên có tổng quãng đường xe chạy 171 (km), trên đó chia thành 5 chu trình con. Chu trình thứ nhất trên quãng đường 34,7 (km) tính từ điểm xuất phát tại trường ĐHCN Hà Nội đến điểm Đồng Trúc (Cao tốc Láng Hòa Lạc). Tổng hợp 5 chu trình trình bày trên bảng 4.2.

Bảng 4.2. Tổng hợp kết quả chạy thí nghiệm ngày 07/4/2024, $m_{55} = 1170$ kg

Thí nghiệm tiêu hao nhiên liệu trên ô tô ngày 07/04/2024										
Nội dung	Chu trình 1		Chu trình 2		Chu trình 3		Chu trình 4		Chu trình 5	
	Số liệu	Kết quả	Số liệu	Kết quả	Số liệu	Kết quả	Số liệu	Kết quả	Số liệu	Kết quả
Thời gian xuất phát	4h12'	1h00'	5h37'	1h02'	7h02'	1h00'	8h27'	1h00'	9h52'	1h06'
Thời gian kết thúc	5h12'		6h37'		8h02'		9h27'		10h55'	
Số km đầu	0	34,7	34,7	34,7	69,4	34,7	104,1	34,7	138,8	31,7
Số km cuối	34,7		69,4		104,1		138,8		170,5	
Lượng nhiên liệu đầu (g)	12.464	1.057	11.391	1.009	10.377	1.025	11.323	1.082	10.232	1.165
Lượng nhiên liệu cuối (g)	11.407		10.382		9.352		10.241		9.067	
Lộ trình chạy	ĐHCN - cầu Phùng - Chùa Thầy - Đồng Trúc(CT Láng hoà lạc)		Đồng Trúc(CT Láng hoà lạc) - Sơn Tây - cầu Vĩnh Thịnh- Đồng Văn - Yên lạc		Đồng Văn (Yên lạc) - Quốc lộ 2A - Đường Mê Linh - Đường Võ Văn Kiệt		Võ Văn Kiệt - Cầu Đồng Trù - Cầu thanh Trì - Đường Đỗ Mười(Hoàng mai)		Đường Đỗ Mười(Hoàng mai) - Ngọc Hồi - cầu Tô - Văn Khê - Lê Trọng Tấn - Láng Hoà Lạc - Mỹ Đình - Trịnh Văn Bô - ĐHCN HN	
Đặc điểm đường xá	Nội đô, ngoại ô, cao tốc		Ngoại ô có dốc		Ngoại ô		Ngoại ô, Đô thị		Đô thị đông người	
Thời gian nghỉ giải lao	Kết thúc lần 1: 25 phút		Kết thúc lần 2: 25 phút		Kết thúc lần 3: 25 phút		Kết thúc lần 4: 25 phút			

Cụ thể lấy kết quả thí nghiệm ở chu trình 1 để so sánh toàn diện số liệu mức tiêu thụ nhiên liệu giữa thí nghiệm và mô phỏng, ở đó sử dụng cùng một tín hiệu đầu vào là vận tốc thực của xe trong quá trình thí nghiệm. Từ dữ liệu vận tốc đo được (tín hiệu thô), sử dụng bộ lọc Butterworth và làm mịn đồ thị để lọc các nhiễu tần số thấp dưới 10 (Hz) và các nhiễu khác, tín hiệu vận tốc sau lọc (tín hiệu sạch) được sử dụng trong phân tích kết quả đo mức FC_{TN} và trong mô phỏng FC_{MP} với cùng thời gian 3681 (s) và cùng số điểm đo 8264 điểm tương ứng. Các bước sử dụng bộ lọc làm sạch dữ liệu trong Matlab Simulink được trình bày trên hình 4.27.



Hình 4.30. Các bước lọc làm sạch dữ liệu vận tốc xe chạy trong thí nghiệm

Đối với các phép đo có thông số xác định và các biến thí nghiệm ổn định, trong luận án này việc so sánh giữa kết quả mô phỏng và thực nghiệm được thực hiện theo năm nhóm phương pháp toán học cơ bản, bao gồm: (i) thống kê mô tả, (ii) đo lường sai số, (iii) kiểm định thống kê, (iv) phân tích tương quan và (v) trực quan hóa dữ liệu. Trong đó, hệ số tương đồng CCC (Concordance Correlation Coefficient) được sử dụng như một chỉ tiêu quan trọng để đánh giá mức độ phù hợp giữa hai bộ dữ liệu theo các nghiên cứu của Choi và các tác giả [94], cùng các hướng dẫn phân tích trong [95] và [96].

Ở những phép đo có những thông số xác định và các biến thí nghiệm ổn định thường có năm phương pháp toán học cơ bản để so sánh dữ liệu kết quả thí nghiệm và mô phỏng [94], [95], [96] bao gồm:

(1) Phương pháp thống kê mô tả: Sử dụng các giá trị trung bình (Mean) để so sánh xu hướng trung tâm; sử dụng độ lệch chuẩn (Standard Deviation) để đo độ phân tán; sử dụng giá trị trung vị (Median) là giá trị chính giữa không bị ảnh hưởng bởi ngoại lai (outlier); đánh giá phạm vi (Min, Max, Range) xác định khoảng biến thiên của dữ liệu và sử dụng tứ phân vị (Q1, Q3) để chia phân bố thành các phần so sánh.

(2) Phương pháp đo lường sai số sử dụng các chỉ số MAE (Mean Absolute Error) là trung bình sai số tuyệt đối, RMSE (Root Mean Square Error) là căn bậc hai trung bình của bình phương sai số, MAPE (Mean Absolute Percentage Error) là sai số phần trăm để so sánh tương đối, không phụ thuộc vào đơn vị và sử dụng R^2 score (0–1) để đo độ phù hợp của mô hình.

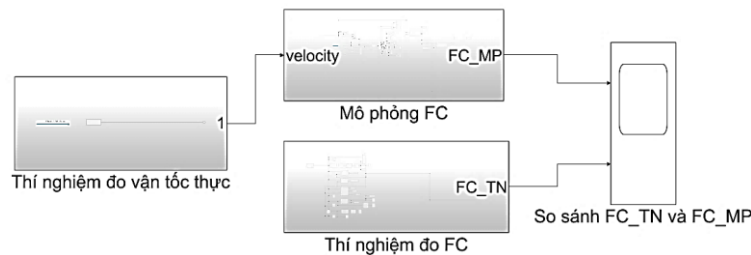
(3) Phương pháp kiểm định thống kê sử dụng chỉ số T-test để kiểm định sự khác biệt giữa hai trung bình giả định phân phối chuẩn; chỉ số Kolmogorov-Smirnov test để kiểm định phân phối để so sánh toàn bộ hàm phân phối tích lũy và chỉ số Mann-Whitney U test để kiểm định phi tham số khi không giả định phân phối chuẩn.

(4) Phương pháp phân tích tương quan sử dụng Pearson correlation là chỉ số tương quan tuyến tính từ -1 đến 1 để xác định mức độ quan hệ tuyến tính. Chỉ số Spearman correlation là tương quan thứ bậc để phát hiện quan hệ độc lập. Chỉ số CCC là hệ số tương đồng để đánh giá sự đồng nhất giữa hai phép đo.

(5) Phương pháp trực quan sử dụng một trong các biểu đồ: Đồ thị Line plot để quan sát đánh giá đại số để so sánh tỷ lệ phần trăm, biểu đồ phân tán Scatter plot để đánh giá sự phân tán số liệu đo, biểu đồ đánh giá sự đồng nhất Bland-Altman plot hoặc phân phối và ngoại lai Histogram & Boxplot.

Đồ thị Line plot là phổ biến nhất khi sử dụng Matlab Simulink trong mô phỏng để đánh giá toàn diện từ nhiều góc độ để đưa ra kết quả có tính tổng quan

bằng hình dạng đồ thị và định lượng số liệu. Luận án đã lựa chọn đồ thị Line plot trong phương pháp thứ 5 trong phần mềm Matlab Simulink lấy kết quả phân tích trực quan và kết hợp với những chỉ số đánh giá chính ở 4 phương pháp trên để so sánh đánh giá kết quả thí nghiệm và mô phỏng. Sơ đồ đánh giá toàn diện so sánh kết quả, hình 4.31.

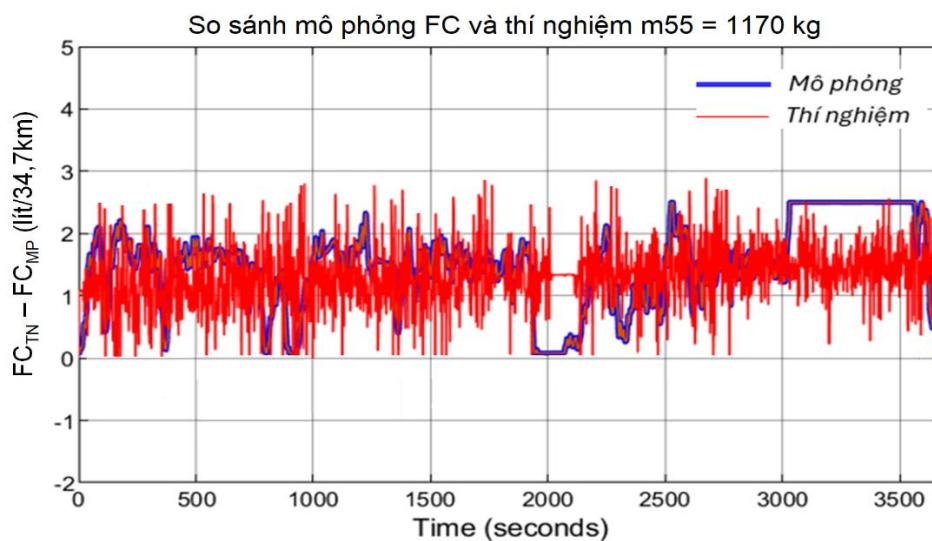


Hình 4.31. Sơ đồ Simulink so sánh toàn diện kết quả FC thí nghiệm và mô phỏng

4.6.4.2. Kết quả so sánh

a) Đồ thị kết quả so sánh

Thời gian thí nghiệm và mô phỏng 3681 giây (~1,02giờ), các bảng dữ liệu cho số điểm dữ liệu 8264 điểm đo, tỷ lệ xích 2,245 nằm trong phạm vi tần số lấy mẫu theo lý thuyết. Kết quả so sánh giữa mô phỏng và thí nghiệm trình bày trên hình 4.29. Trên đồ thị có hai đường biểu diễn mức tiêu thụ nhiên liệu, màu đỏ của thí nghiệm và màu xanh của mô phỏng.



Hình 4.32. Đồ thị so sánh kết quả FC thí nghiệm và mô phỏng

Đường màu đỏ là đường thể hiện mức tăng lượng tiêu thụ nhiên liệu theo thời gian, là mức giảm lượng nhiên liệu hiển thị trên cân nhiên liệu đã đổi sang lít khi xe vận hành thực tế với khối lượng xe $m_{55} = 1170$ kg; đường màu xanh là thể hiện mức tiêu thụ nhiên liệu theo thời gian thực trong mô phỏng của chu trình 1 với $m_{55} = 1170$ kg làm đại diện, tại các điểm dừng thì mức tiêu thụ nhiên liệu tiến gần về 0 lúc này mức tiêu thụ nhiên liệu thể hiện là mức tiêu thụ nhiên liệu không tải, cuối chu trình là đoạn chạy trên cao tốc nên mức tiêu thụ nhiên liệu vượt lên cao so với trước đó.

Trên đồ thị cho thấy FC_{MP} và FC_{TN} nằm trong khoảng từ 0 đến 8 (lít/chu trình thí nghiệm) có độ biến động các điểm đo tương đồng nhau phản ánh xu thế thay đổi lượng nhiên liệu tiêu thụ FC là như nhau. Những điểm sai lệch giữa hai đồ thị phản ánh sự khác nhau của điều kiện thí nghiệm và mô phỏng. Những điều kiện môi trường và kỹ năng người lái xe gồm ảnh hưởng của các yếu tố thực tế như điều kiện đường xá, thời tiết, chất lượng nhiên liệu... trong mô phỏng sử dụng điều kiện ổn định.

b) Kết quả mô phỏng lượng nhiên liệu tiêu thụ FC_{MP}

Độ lệch chuẩn ở các phạm vi có giá trị trung bình 0–2,48 lít và ở phạm vi 0,80–4,95 lít có giá trị trung bình 2,06 lít đều có độ lệch chuẩn 0,42 lít.

Dữ liệu ổn định với hệ số biến thiên thấp $CV = 20,03\%$.

Phân phối lệch phải nhẹ (skewness = 0,36), không có giá trị âm.

Dạng đồ thị phù hợp quy luật với Kurtosis cao (4,04) có đỉnh nhọn, ít outlier ở đuôi

Nhận xét: Dữ liệu mô phỏng có chất lượng tốt, ổn định, dự báo sẽ phù hợp với tín hiệu đo lường vật lý thực tế.

c) Kết quả thí nghiệm lượng nhiên liệu tiêu thụ FC_{TN}

Trên đồ thị, ở phạm vi FC_{TN} có giá trị trung bình 0–2,62 lít độ lệch chuẩn

là 1,07 kg và ở phạm vi 6,84–9,77 lít có độ lệch chuẩn 1,69 lít. Như vậy độ lệch chuẩn tổng: $1,69 - 1,07 = 0,62$, lệch 0,2 so với 0,42 của mô phỏng.

Dữ liệu không ổn định với hệ số biến thiên cao $CV = 66,03\%$ nguyên nhân do trong thí nghiệm có nhiều thông số biến thiên sinh ra các nhiễu tín hiệu.

Phân phối lệch phải lớn (skewness = -0,16), có nhiều giá trị âm 14,085/659,043 giá trị, chiếm 5,68% tổng số tín hiệu do nhiễu. Tuy nhiên tỷ lệ phần trăm này cho phép chấp nhận được trong đo lường cơ khí.

Dạng đồ thị phẳng hơn so với phân phối chuẩn với Kurtosis thấp (0,14) có

Nhận xét: Dữ liệu thí nghiệm có nhiễu, những giá trị âm cho thấy ảnh hưởng rõ nét các cảm biến đo hoặc calibration dữ liệu ban đầu. Trên cơ sở này đưa ra những khuyến nghị về lựa chọn cảm biến đo và chuẩn hóa tín hiệu trong thí nghiệm.

d) Nhận xét so sánh giữa FC_{MP} và FC_{TN}

– Giá trị trung bình: Ở phạm vi giá trị trung bình FC_{MP} 2,48 lít và FC_{TN} 2,62 lít có độ chênh lệch: +0,14 lít, tính theo phần trăm là $(2,62 - 2,48)/2,48 \times 100\% = 5,65\%$. Như vậy FC_{TN} chênh lệch so với mô phỏng là 5,65%.

– Độ ổn định σ : FC_{MP} có $\sigma_{MP} = 0,42$ lít (ổn định) và FC_{TN} : $\sigma_{TN} = 1,07$ lít (không ổn định). Như vậy FC_{MP} có mức ổn định cao hơn gấp 2,5 lần FC_{TN} .

– Các sai số đo lường trong thí nghiệm: Sai số tuyệt đối trung bình MAE = 0,98 lít. Sai số bình phương trung bình RMSE = 1,22 lít.

– Các chỉ số kiểm định thống kê: T-test: p-value < 0,001 có ý nghĩa thống kê cao. Mann-Whitney U: p-value < 0,001 cho thấy những khác biệt đều có ý nghĩa thống kê.

– Phân tích tương quan: Pearson $r = 0,934$ cho thấy tương quan cao đảm bảo độ tin cậy. Chỉ số Spearman $\rho = 0,95$ cho thấy tương quan thứ bậc mạnh

và độ đồng nhất CCC = 0,720 rất cao cho thấy hai tập dữ liệu gần nhau và có tương quan mạnh.

4.6.4.3. So sánh kết quả ở khối lượng giảm

Để so sánh, đánh giá kết quả giữa thí nghiệm và mô phỏng NCS còn làm thí nghiệm với khối lượng nhỏ hơn xe nguyên bản 10%: m44 = 1053kg (bao gồm khối lượng xe không tải 940 kg; dung tích thùng nhiên liệu 45 lít x 1/3 = 15 lít x 0,7 = 11 kg; Lái xe = 75; Cân + giá cân + nhiên liệu trong bình chứa = 30 kg; tháo lớp dự phòng và ghế phụ và phụ kiện không cần thiết). Lộ trình thí nghiệm tương tự như lộ trình hình 4.13 chạy thí nghiệm của xe nguyên bản m55 với cung giờ chạy thí nghiệm giống nhau, mọi điều kiện chạy tương đồng nhau để hạn chế ảnh hưởng của mật độ giao thông theo các cung giờ. Kết quả chạy thí nghiệm với khối lượng m44 = 1053 kg như sau, bảng 4.3.

Bảng 4.3. Tổng hợp kết quả chạy thí nghiệm ngày 14/04/2024 với m44 = 1053 kg

Thí nghiệm tiêu hao nhiên liệu trên ô tô ngày 14/04/2024										
Nội dung	Chu trình 1		Chu trình 2		Chu trình 3		Chu trình 4		Chu trình 5	
	Số liệu	Kết quả	Số liệu	Kết quả	Số liệu	Kết quả	Số liệu	Kết quả	Số liệu	Kết quả
Thời gian xuất phát	4h02'	1h00'	5h27'	1h02'	7h55'	1h00'	8h20'	1h00'	9h45'	1h06'
Thời gian kết thúc	5h02'		6h29'		7h55'		8h20'		9h51'	
Số km đầu	0	34,7	34,7	34,7	69,4	34,7	104,1	34,7	138,8	31,7
Số km cuối	34,7		69,4		104,1		138,8			
Lượng nhiên liệu đầu (g)	12.488	974	11.516	974	10.546	930	11.683	948	10.735	1.103
Lượng nhiên liệu cuối (g)	11.514		10.542		9.616		10.735			
Lộ trình chạy	ĐHCN - cầu Phùng - Chùa Thầy - Đồng Trù (CT Lăng hoà lạc)		Đồng Trù (CT Lăng hoà lạc) - Sơn Tây - cầu Vĩnh Thịnh - Đồng Văn - Yên lạc		Đồng Văn (Yên lạc) - Quốc lộ 2A - Đường Mê Linh - Đường Võ Văn Kiệt		Võ Văn Kiệt - Cầu Đông Trù - Cầu thanh Trì - Đường Đỗ Mười (Hoàng mai)		Đường Đỗ Mười - Ngọc Hồi - cầu Tô Văn Khê - Lê Trọng Tấn - Lăng Hoà Lạc - Mỹ Đình - Trịnh Văn Bó - ĐHCN HN	
Đặc điểm đường xá	Nội đô, ngoại ô, cao tốc		Ngoại ô có đèo		Ngoại ô		Ngoại ô, Đô thị		Đô thị đông người	
Thời gian nghỉ giải lao	Kết thúc lần 1: 25 phút		Kết thúc lần 2: 25 phút		Kết thúc lần 3: 25 phút		Kết thúc lần 4: 25 phút			

Kết quả chạy thí nghiệm so sánh trong chu trình 1 cho thấy xe thời gian 1h00', quãng đường 34,7 km, FC = 0,974 kg = 1,35 lít. So với khối lượng nguyên bản m55 thì khi giảm khối lượng 10% thì mức tiêu thụ nhiên liệu giảm 7,8% và so với mô phỏng là 7,2%. Như vậy chênh lệch %: 7,8 – 7,2 = 0,6% là do kỹ năng lái và các yếu tố bên ngoài.

KẾT LUẬN CHƯƠNG 4

Chương 4 đã trình bày quá trình nghiên cứu thực nghiệm đo mức tiêu thụ

nhiên liệu trên xe Toyota Vios 2009, bao gồm thiết kế thiết bị đo, xây dựng lộ trình thí nghiệm, thu thập và xử lý dữ liệu, đánh giá kết quả và so sánh với mô phỏng.

Phương pháp đo mức tiêu thụ nhiên liệu trực tiếp trên xe chạy đường thực được lựa chọn, phù hợp với tiêu chuẩn SAE J1321 và điều kiện thực tế tại Việt Nam, NCS đã thiết kế, chế tạo bộ đo mức tiêu thụ nhiên liệu phục vụ cho nghiên cứu thực nghiệm. Bộ đo sau khi chế tạo đã được kiểm định bởi Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Việt Nam, bảo đảm độ chính xác và độ tin cậy của các số liệu đo trong quá trình thí nghiệm.

Lộ trình xe chạy thí nghiệm được lựa chọn dựa trên các lộ trình tiêu chuẩn của Mỹ, Châu Âu, của Nhật bản về số km, vận tốc, thời gian... và phản ánh đa dạng điều kiện giao thông thực tế tại Việt Nam. Dựa trên chu trình xe chạy thí nghiệm và bộ đo đã chế tạo, các phép đo mức tiêu thụ nhiên liệu được tiến hành trong những điều kiện xác định, đồng thời khối lượng của ô tô được thay đổi để đánh giá ảnh hưởng của khối lượng đến mức tiêu thụ nhiên liệu. Kết quả thí nghiệm cho thấy mức tiêu thụ nhiên liệu tăng theo sự gia tăng của khối lượng xe, phù hợp với xu hướng biến thiên đã được xác định trong mô hình lý thuyết và mô phỏng ở các chương trước.

Kết quả so sánh giữa FC_{MP} và FC_{TN} trong cùng chu trình thứ nhất với 8264 điểm đo và thời gian 3681 giây cho thấy mức độ tương đồng cao. Giá trị trung bình FC_{TN} sai lệch so với FC_{MP} là 5,65%, nằm trong phạm vi sai số cho phép của thực nghiệm cơ khí. Kết quả thí nghiệm trên xe có khối lượng giảm 10% ($m_{44} = 936 \text{ kg}$) cho thấy mức tiêu thụ nhiên liệu giảm 7,8% so với xe nguyên bản, trong khi mô phỏng cho kết quả giảm 7,2%. Mức chênh lệch giữa thí nghiệm và mô phỏng chỉ là 0,6%, hoàn toàn nằm trong phạm vi sai số do kỹ năng lái xe và điều kiện môi trường bên ngoài. Qua đó chứng minh mức độ tin cậy của mô hình, phương trình FC, chu trình xe chạy thí nghiệm và bộ đo đã

xây dựng.

Các kết quả thực nghiệm trong chương 4 đã kiểm chứng thành công mô hình tĩnh học FC_{stat} xây dựng ở chương 2 và chương 3, đồng thời khẳng định bằng số liệu thực tế rằng khối lượng xe là yếu tố ảnh hưởng quan trọng đến mức tiêu thụ nhiên liệu, đồng thời tạo cơ sở khoa học và thực tiễn cho việc áp dụng các giải pháp giảm khối lượng xe, trong đó có định hướng sử dụng vật liệu nhẹ, nhằm giảm mức tiêu thụ nhiên liệu trong khai thác thực tế.

KẾT LUẬN

Luận án "*Nghiên cứu ảnh hưởng của khối lượng ô tô 5 chỗ đến mức tiêu thụ nhiên liệu*" đã được thực hiện với mục tiêu làm rõ mối quan hệ giữa khối lượng xe và mức tiêu hao nhiên liệu trong các điều kiện vận hành khác nhau, trên cơ sở kết hợp giữa nghiên cứu lý thuyết, mô hình hóa, mô phỏng và đánh giá thực nghiệm. Kết quả nghiên cứu đã làm rõ bản chất mối quan hệ giữa khối lượng xe với các lực cản chuyển động và mức tiêu hao năng lượng trong quá trình vận hành, qua đó khẳng định khối lượng là một trong những thông số có ảnh hưởng trực tiếp và đáng kể đến mức tiêu thụ nhiên liệu của ô tô

Về mặt khoa học, luận án đã hệ thống hóa được cơ sở lý thuyết về các lực cản chuyển động của ô tô, đồng thời xây dựng mô hình toán học và mô hình mô phỏng trên nền tảng Matlab/Simulink nhằm đánh giá định lượng ảnh hưởng của khối lượng xe đến lực cản chuyển động và mức tiêu thụ nhiên liệu. Mô hình được xây dựng trên cơ sở các thông số thực tế của xe Toyota Vios 2009, kết hợp với dữ liệu vận tốc thu thập từ thực nghiệm và xử lý tín hiệu đầu vào, bảo đảm độ tin cậy và tính khách quan của kết quả nghiên cứu.

Kết quả nghiên cứu cho thấy lực cản lăn biến thiên tỷ lệ thuận với khối lượng xe, trong khi lực cản khí động học gần như không phụ thuộc vào khối lượng khi hình dáng xe không thay đổi. Trên cơ sở khảo sát nhiều mức khối lượng khác nhau, luận án đã xác lập được quy luật biến thiên của mức tiêu thụ nhiên liệu theo khối lượng xe. Do đặc tính phi tuyến của dữ liệu, mô hình hàm ghép đoạn được lựa chọn để mô tả mối quan hệ này, trong đó mỗi miền giá trị của khối lượng được xấp xỉ bằng một hàm phù hợp nhằm nâng cao độ chính xác của mô hình đối với xe ô tô 5 chỗ. Cụ thể, mức tiêu thụ nhiên liệu được xác định theo biểu thức: $FC = \begin{cases} 0,0035m - 0,15; & m \leq 1300 \\ 0,00002m^2 - 0,045m + 30; & m > 1300 \end{cases}$ (lít/100 km) với hệ số xác định $R^2 \approx 0,99$. Qua đó khẳng định độ tin cậy của mô

hình và khả năng ứng dụng trong dự báo, đánh giá hiệu quả khai thác phương tiện.

Thiết kế, chế tạo thiết bị đo tiêu thụ nhiên liệu, hiển thị và thu thập dữ liệu trong quá trình chuyển động theo thời gian thực được kiểm định bởi Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng Việt Nam. Xây dựng được chu trình thử nghiệm phù hợp với điều kiện, văn hóa tham gia giao thông tại Việt Nam. Trên cơ sở đó tiến hành thí nghiệm đo tiêu thụ nhiên liệu và so sánh kết quả với mô phỏng trên cùng một chu trình ở khối lượng $m_{55} = 1170$ kg, cho thấy sai khác giá trị trung bình là 5,65%. Thử nghiệm bổ sung trên xe giảm 10% khối lượng ($m_{44} = 936$ kg) cho thấy sai lệch % mức tiêu thụ nhiên liệu so với mô phỏng chỉ 0,6%, nguyên nhân kỹ năng lái xe và điều kiện môi trường bên ngoài. Những kết quả này xác nhận mô hình FC_{stat} và phương pháp nghiên cứu của luận án có độ tin cậy cao, đáp ứng yêu cầu của nghiên cứu của luận án.

Một đóng góp có ý nghĩa thực tiễn của luận án là đề xuất giải pháp giảm khối lượng xe thông qua ứng dụng vật liệu composite CFRP-Epoxy thay thế vật liệu thép truyền thống trong kết cấu khung vỏ. Kết quả phân tích cho thấy giải pháp này giúp giảm đáng kể khối lượng tổng thể của xe, từ đó làm giảm lực cản chuyển động, giảm mức tiêu thụ nhiên liệu và nâng cao hiệu quả kinh tế trong quá trình sử dụng.

Nhìn chung, các kết quả đạt được của luận án không chỉ có ý nghĩa khoa học trong việc bổ sung cơ sở lý luận về ảnh hưởng của khối lượng đến tiêu thụ nhiên liệu ô tô, mà còn có giá trị ứng dụng thực tiễn trong nghiên cứu, thiết kế và phát triển các phương tiện tiết kiệm năng lượng, góp phần giảm phát thải và bảo vệ môi trường theo xu hướng phát triển bền vững của ngành công nghiệp ô tô.

Hướng nghiên cứu tiếp theo:

Do thời gian và điều kiện nghiên cứu của luận án có hạn nên bộ đo mới

chỉ thực hiện được trên xe con 5 chỗ nên NCS đề xuất hướng nghiên cứu mở rộng tiếp theo là:

- Tiếp tục mở rộng và nghiên cứu ảnh hưởng của nhiều yếu tố khác cùng khối lượng trong các điều kiện vận hành thực tế đến mức tiêu thụ nhiên liệu trên ô tô con.

- Nghiên cứu mức tiêu thụ nhiên liệu trên nhiều mẫu ô tô khác.

- Nghiên cứu đánh giá độ bền, chi phí sản xuất và công nghệ chế tạo thân vỏ bằng vật liệu composite.

- Hoàn thiện bộ đo để có thể sử dụng rộng rãi trên nhiều loại xe trong nghiên cứu và hướng tới thực tiễn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Tài liệu Tiếng Việt:

[1] Bộ Tài Nguyên và Môi trường, (2023), Trang thông tin điện tử, <http://www.dcc.gov.vn/>.

[4] Cục Đăng kiểm Việt Nam, *Tổng hợp số liệu phương tiện giao thông trong cả nước*, 2020. <https://www.vr.org.vn/thong-ke/Pages/tong-hop-so-lieu-phuong-tien-giao-thong-trong-ca-nuoc.aspx>

[7] Nguyễn Hữu Cẩn và các tác giả, (2005), *Lý thuyết ô tô máy kéo*, NXB Khoa học và Kỹ thuật Hà Nội.

[8] Phạm Minh Tuấn, (2008), *Lý thuyết động cơ đốt trong*, trg 152, NXB Khoa học và Kỹ thuật Hà Nội.

[39] Phạm Thị Hué, Nguyễn Thị Ánh Tuyết, (2021), “Nghiên cứu xu hướng thay đổi tiêu thụ năng lượng đối với các ngành dịch vụ vận tải”, *Engineering and Technology for Sustainable Development*, Volume 31, Issue 3, July 2021, tr. 089-096.

[40] Lê Anh Tuấn, Nguyễn Thị Yến Liên, Đỗ Đức Tuệ, (2021), *Nghiên cứu phát triển phương tiện giao thông điện tại Việt Nam*, Báo cáo thuộc dự án Sáng kiến giao thông trong NDC tại các nước châu Á (NDC-TIA) tháng 8, https://changing-transport.org/wp-content/uploads/E_mobility_Final-report_VI-2.pdf.

[41] Trương Mạnh Hùng, Vũ Văn Tấn, Trịnh Lương Miên, (2023), *Xây dựng bộ dữ liệu về mức tiêu thụ nhiên liệu và xác định mức tiêu thụ nhiên liệu cơ sở cho xe ô tô con từ 9 chỗ trở xuống tại Việt Nam*, Báo cáo kỹ thuật, Tổ chức Hợp tác Phát triển Đức GIZ, tháng 3.

[42] Cục Đăng kiểm Việt Nam (Vietnam Register) (2020), *Báo cáo đánh giá nhân năng lượng đối với xe ô tô con*, Bộ Giao thông Vận tải, Hà Nội.

[92] Nguyễn Văn Dữ, Nguyễn Đăng Bình, (2011), *Quy hoạch thực nghiệm trong kỹ thuật*, NXB KH và KT, ISBN 211045H00.

2. Tài liệu tiếng anh:

[2] Reza Tolouei, Helena Titheridge, (2009), “Vehicle mass as a determinant of fuel consumption and secondary safety performance”, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Elsevier, Volume 14, Issue 6, August 2009, Pages 385-399, <https://doi.org/10.1016/j.trd.2009.01.005>.

[3] National Research Council Review (2002), *The 2002 National Research Council Report on Biosolids and EPA's Response*, National Academies Press.

[5] United States Environmental Protection Agency, (2022), *Factors Effecting Automotive Fuel Economy*, <https://nepis.epa.gov/>

[6] National Instruments, (2016). *Vehicle Performance Analysis*, <http://www.ni.com/whitepaper/13014/en/>

[9] Geoffrey Davies, (2012), *Materials for Automobile Bodies*, ISBN: 978-0-08-096979-4, Elsevier.

[10] Simon McBeath, (2017), *Competition Car Aero Dynamics, A Practical Handbook*, Veloce Publishers, eBook edition ISBN: 978-1-787110-86-1. p 57.

[11] The tyre, (2003), *Rolling resistance and fuel savings*, Société de Technologie Michelin, 23, rue Breschet, 63000 Clermont-Ferrand, http://docenti.ing.unipi.it/guiggiani-m/Michelin_Tire_Rolling_Resistance.pdf

[12] Huff S Davis S Boundy R Gibson R (2023), *Auto Stop-Start Fuel Consumption Benefits*, WCX SAE World Congress Experience, Detroit, Michigan, United States, <https://doi.org/10.4271/2023-01-0346>

[13] Brayner P.H.A. da Costa J.A.P. Ochoa A.A.V. Urbano J.J. Leite G.N.P. Michima P.S.A (2024), “Analysis and optimization of the fuel consumption of an internal combustion vehicle by minimizing the parasitic power in the cooling system”, *Processes*, 12(2), 321. <https://doi.org/10.3390/pr12020321>.

[14] Heywood JB (2018), *Internal Combustion Engine Fundamentals*, (2nd ed.), McGraw-Hill Education, New York

[15] K. John Holmes et al., (2011), *Assessment of Fuel Economy Technologies for Light-Duty Vehicles*, National Academies Press, DOI: 10.17226/12924, <http://nap.nationalacademies.org/12924>.

[16] Anup Bandivadekar et al., (2008), *On the Road in 2035: Reducing Transportation's Petroleum Consumption and GHG Emissions*. Laboratory for Energy and the Environment Report No. LFEE 2008-05 RP, Massachusetts Institute of Technology, <https://energy.mit.edu/wp-content/uploads/2008/08/MIT-LFEE-08-005-RP.pdf>.

[17] Lotus Engineering Inc, (2010), *An Assessment of Mass Reduction Opportunities for a 2017-2020 Model Year Vehicle Program*, The International Council on Clean Transportation, https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/Mass_reduction_final_2010.pdf.

[18] Sloan Automotive Laboratory, <https://sloan-auto-lab.mit.edu/>.

[19] United States Environmental Protection Agency (2014), *Carbon dioxide emissions*,

<http://www.epa.gov/climatechange/ghgemissions/gases/co2.html>.

[20] UCSUSA (2014), *Car emissions and global warming*, http://www.ucsusa.org/clean_vehicles/why-clean-cars/global-warming/.

[21] Joeri Van Mierlo, Gaston Maggetto, E Van de Burgwal, and R Gense

(2004), “Driving style and traffic measures-influence on vehicle emissions and fuel consumption”, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 218(1), 43–50.

[22] Matthew Barth, Sindhura Mandava, Kanok Boriboonsomsin, Haitao Xia, (2011), “Dynamic eco-driving for arterial corridors”, *Integrated and Sustainable Transportation System (FISTS), 2011 IEEE Forum*, pages 182–188.

[23] Engin Ozatay, Umit Ozguner, Dimitar Filev, John Michelini, (2013), “Analytical and numerical solutions for energy minimization of road vehicles with the existence of multiple traffic lights”, *Decision and Control (CDC), 2013 IEEE 52nd Annual Conference*, pages 7137–7142.

[24] Pathri Bhargav Prajwal, (2012), “Design Optimization of Formula One Student Sports Car Upright Using Hypermesh”, *International Journal of Mechanical and Industrial Engineering (IJMIE)*, 2(1), DOI: 10.47893/IJMIE.2013.1088.

[25] Anandhu Madhu, Aravind J R, (2020), “Software tool development for estimating forces acting on a formula student racing vehicle using simple vehicle dynamics models”, *Transportation Engineering*, 2, DOI: 10.1016/j.treng.2020.100016.

[26] V. Sverbilov, D. Stadnik, G. Makaryants, (2013), “Study on dynamic behavior of a gas pressure relief valve for a big flow rate”, *ASME/BATH 2013 Symposium on Fluid Power and Motion Control (FPMC 2013)*.

[27] P.K. Mallick, (2021), “Designing lightweight vehicle body”, *Materials, Design and Manufacturing for Lightweight Vehicles (Second Edition)*.

[28] T. Bein, T. Melz, (2012), “Advanced materials and technologies for

reducing noise, vibration and harshness (NVH) in automobiles”, *Advanced Materials in Automotive Engineering*.

[29] S I Krivoschapov, A I Nazarov, M I Mysiura, I A Marmut, V A Zuyev, V V Bezridnyi, V N Pavlenko, (2020), “Calculation methods for determining of fuel consumption per hour by transport vehicles”, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 977(1), 012004, DOI: 10.1088/1757-899X/977/1/012004.

[30] Juan Camilo Lopez và các tác giả, (2020), “Development of a fuel consumption measurement methodology for light duty vehicle in Colombia, based on metrology principle”, *DYNA*, 87(212), 47–56, DOI: <https://doi.org/10.15446/dyna.v87n212.78899>.

[31] Walid M. Al-Momani, Omar O. Badran, (2007), “Experimental investigation of factors affecting vehicle fuel consumption”, *International Journal of Mechanical and Materials Engineering (IJMME)*, 2(2), 180–188.

[32] Markus Hallsten, (2009), *Methods for Measurement and Simulation of Fuel Consumption and Emissions on Heavy Duty Vehicles*, Master of Science Thesis MMK 2009:79 MFM131 KTH Industrial Engineering and Management Machine Design SE-100 44 STOCKHOLM.

[33] Francesco Del Pero, Lorenzo Berzi, Andrea Antonacci, Massimo Delogu, (2020), “Automotive Lightweight Design: Simulation Modeling of Mass-Related Consumption for Electric Vehicles”, *Machines*, 8(51), DOI: 10.3390/machines8030051.

[34] Koffler C., Rodhe-Branderburger K., (2010), “On the calculation of fuel savings through lightweight design in automotive life cycle assessments”, *International Journal of Life Cycle Assessment*, 15, 128–135.

[35] Kim H C Hyung Chul, Wallington T J (2013), “Life Cycle

Assessment of Vehicle Lightweighting: A Physics-Based Model of Mass-Induced Fuel Consumption”, *Environmental Science & Technology*, tập 47, (số 24), 14358–14366. DOI: 10.1021/es402954w.

[36] Kim H C Hyung Chul, Wallington T J, Sullivan J L, Keoleian G A (2015), “Life Cycle Assessment of Vehicle Lightweighting: Novel Mathematical Methods to Estimate Use-Phase Fuel Consumption”, *Environmental Science & Technology*, 49(16), 10209–10216. DOI: 10.1021/acs.est.5b01655.

[37] Sandrini G et al. (2026), “Vehicle lightweighting for carbon neutrality: decarbonization mechanisms, key processes and engineering applications”, *Carbon Neutral Systems*.

[38] (2025), “Impact of lightweighting and driving conditions on electric vehicle energy consumption”, *Energy*, 323, 135746. DOI: 10.1016/j.energy.2025.135746.

[43] Goodyear (Goodyear Tire and Rubber Company), (2003), *Radial Truck Tire and Retread Manual*, Manual No. 700-862-932-505.

[44] V. Hublau, A. Barillier, (2008), “The equations of the rolling resistance of a tire rolling on a drum”, *Tire Science and Technology*, 36(2), 146–155.

[45] J. R. Cho, H. W. Lee, W. B. Jeong, K. M. Jeong, K. W. Kim, (2013), “Numerical estimation of rolling resistance and temperature distribution of 3-D periodic patterned tire”, *International Journal of Solids and Structures*, 50(1), 86–96.

[46]. P. S. Pillai, (2004), “Effect of tyre overload and inflation pressure on rolling loss (resistance) and fuel consumption of automobile and truck/bus tires”, *Indian Journal of Engineering & Material Science*, 11, 406–412.

[47] Y.-J. Lin, S.-J. Hwang, (2004), “Temperature prediction of rolling tires by computer simulation”, *Mathematics and Computers in Simulation*, 67(3), 235–249.

[48] J. Cho, K. Kim, H. Jeong, (2007), “Numerical investigation of tire standing wave using 3-D patterned tire model”, *Journal of Sound and Vibration*, 305(4), 795–807.

[49] J. R. Luchini, J. A. Popio, (2007), “Modeling transient rolling resistance of tires”, *Tire Science and Technology*, 35(2), 118–134.

[50] H. B. Pacejka, (2006), *Tyre and Vehicle Dynamics*, Butterworth-Heinemann, ISBN 0, 7506 (5141).

[51] J. R. Cho, H. W. Lee, W. B. Jeong, K. M. Jeong, K. W. Kim, (2013), “Numerical estimation of rolling resistance and temperature distribution of 3-D periodic patterned tire”, *International Journal of Solids and Structures*, 50(1), 86–96.

[52] T. Ebbott, R. Hohman, J.-P. Jeusette, V. Kerchman, (1999), “Tire temperature and rolling resistance prediction with finite element analysis”, *Tire Science and Technology*, 27(1), 2–21.

[53] J. Y. Wong, (2001), *Theory of Ground Vehicles*, Wiley.

[54] Miravec, (2013), *Models and methods for the estimation of fuel consumption due to infrastructure parameters*, Project Nr. 832615, Modelling Infrastructure Influence on Road Vehicle Energy Consumption. https://trimis.ec.europa.eu/sites/default/files/project/documents/03_miravec_d2.1_v5.0.pdf.

[55] MATLAB & Simulink, *Conventional Vehicle Spark-Ignition Engine Fuel Economy and Emissions*.

[56] Lino Guzzella, Antonio Sciarretta, (2007), *Vehicle Propulsion*

Systems: Introduction to Modeling and Optimization, Second Edition, Springer.

[57] Engin Ozatay, Umit Ozguner, Dimitar Filev, John Michelini, (2013), “Analytical and numerical solutions for energy minimization of road vehicles with the existence of multiple traffic lights”, *Decision and Control (CDC), 2013 IEEE 52nd Annual Conference*, 7137–7142.

[58] Mark Shaulov, et al, (2023), *CAFE Model Documentation*, CAFE Program Office John A. Volpe National Transportation Systems Center Cambridge, MA 02142 U.S. Department of Transportation.

[59] AVL Advanced Simulation Technologies, (2015), *Tools and Methods for Next-Level Simulation Solutions*, www.avl.com

[60] Robert Bosch GmbH, (2011), *Automotive Handbook*, 8th edition, Bentley Publishers. ISBN 10: 0837616867 ISBN 13: 9780837616865.

[61] T. V. Mathew, (2012), “Fuel consumption and emissions studies”, *Traffic Engineering and Management*, Chapter 43.

[62] T. V. Mathew, (2012), “Fuel consumption and emissions studies”, *Traffic Engineering and Management*, Chapter 43,
<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/9100LCHQ.PDF?Dockey=9100LCHQ.PDF>.

[63] *Example of Calculating Compliance*,
<https://www.ecfr.gov/current/title-49/subtitle-B/chapter-V/part-531/appendix-Appendix%20A%20to%20Part%20531>.

[64] National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), *Corporate Average Fuel Economy*, <https://www.nhtsa.gov/laws-regulations/corporate-average-fuel-economy>.

[65] National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), (không rõ năm), *CAFE Compliance and Effects Modeling System*, <https://www.nhtsa.gov/corporate-average-fuel-economy/cale-compliance-and-effects-modeling-system>.

[66] *Calculate fuel consumption*, <https://a6s.info/en/exploitation/157-calculate-fuel-consumption>.

[67] Vidyasagar M, (2002), *Nonlinear systems analysis*. Prentice-Hall, Englewood, ISBN 0-13-623463-1.

[68] Goodyear (Goodyear Tire and Rubber Company), (2003), *Radial Truck Tire and Retread Manual*, Manual No. 700-862-932-505.

[69] McBeath, Simon, (2017), *Competition Car Aero Dynamics: A Practical Handbook*, Veloce Publishers, eBook edition ISBN: 978-1-787110-86-1. p 57.

[70] Al-Maghrebi, M.A.A., Sheng, C., Sarwar, A. và Ahmed, M.A. (2025), “Aerodynamic Design and Performance Evolution of Notchback Vehicles”, *European Journal of Applied Science, Engineering and Technology*, 3 (5), 78–87. DOI: 10.59324/ejaset.2025.3(5).06

[71] Ahmed Elmarakbi, (2014), *Advanced Composite Materials for Automotive Applications - Structural Integrity and Crashworthiness*, ISBN: 978-1-118-42386-8, John Wiley & Sons, Ltd.

[72] Nicholas Lutsey, (2010), *Review of technical literature and trends related to automobile mass-reduction technology*, Research Report – UCD-ITS-RR-10-10, Researchgate,

<https://www.researchgate.net/publication/46439901>

[73] J. Njuguna, (2016), *Lightweight Composite Structures in Transport: Design, Manufacturing, Analysis and Performance*, Woodhead Publishing

Series in Composites Science and Engineering, Number 67, Elsevier, ISBN 978-1-78242-325-6, ISBN 978-1-78242-343-0.

[74] Robert M. Jones, (1999), *Mechanics of Composite Materials*, Second Edition, Taylor & Francis, ISBN 1-56032-712-1.

[75] Autar K. Kaw, (2006), *Mechanics of Composite Materials*, Second Edition, Taylor & Francis, ISBN 978-0-8493-1343-1.

[76] Rafael Nunes et al., (1990), *ASM Handbook, Volume 2: Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*, ASM International, United States of America, ISBN 0-87170-378-5.

[77] Akshat Patil et al., (2017), “An overview of polymeric materials for automotive applications”, *Materials Today: Proceedings*, 4(2), 3807–3815, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.02.278>

[78] *Plastics in the automotive industry: Which materials will be the winners and losers*, <http://adapt.mx/plastics-in-the-automotive-industry-which-materials-will-be-the-winners-and-losers/>.

[79] Mihai-Paul Todor, Imre Kiss, (2016), “Systematic approach on materials selection in the automotive industry for making vehicles lighter, safer and more fuel-efficient”, *Applied Engineering Letters*, 1(4), 91–97, e-ISSN: 2466-4847.

[80] N. Strumberger, A. Gospocic, C. Bratulie, (2005), “Polymeric materials in automobiles”, *Promet – Traffic & Transportation*, 17(3), 149–160.

[81] M. A. Macino et al., (1971), *Automobile Materials*, NXB Transport, Moscow, ISBN 629.113.004.67.002.3.

[82] Ahmad T. Mayyas, Mohammed Omar, (2019), “Eco-material selection for lightweight vehicle design”, DOI: 10.5772/intechopen.88372.

[83] C. Lauter, J. Dau, T. Troster, W. Homberg, (2011), “Manufacturing processes for automotive structures in multi-material design consisting of sheet metal and CFRP prepregs”, *16th International Conference on Composite Structures*, Porto, Portugal.

[84] Y. Shi, P. Zhu, L. Shen, Z. Lin, (2007), “Lightweight design of automotive front side rails with TWB concept”, *Thin-Walled Structures*, 45, 8–14.

[85] Murlidhar Patel, Bhupendra Pardhi, Sulabh Chopara, Manoj Pal, (2018), “Lightweight composite materials for automotive – A review”, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 5(11), p-ISSN: 2395-0072, e-ISSN: 2395-0056.

[86] R. L. McCormich et al., (1998), “Comparison of chassis dynamometer in-use emissions with engine dynamometer FTP emissions for three heavy-duty diesel vehicles”, *International Fall Fuels and Lubricants Meeting and Exposition*, San Francisco, USA.

[87] A. A. Zulkifli et al., (2015), “Impact of the electric compressor for automotive air conditioning system on fuel consumption and performance analysis”, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*.

[88] P. Oberg et al., (2013), “New chassis dynamometer laboratory for vehicle research”, *SAE International Journal of Passenger Cars – Electronic and Electrical Systems*, 6(1), 152–161.

[89] R. Carlson et al., (2013), “The measured impact of vehicle mass on road load forces and energy consumption for a BEV, HEV, and ICE vehicle”, *SAE International Journal of Alternative Powertrains*, 2(1), 105–114.

[90] Society of Automotive Engineers (SAE), (2012), *Surface Vehicle Recommended Practice J1321: Fuel Consumption Test Procedure – Type II*.

[91] Sarah A. Mills, (2019), *Design of Experiment and Analysis Techniques for Fuel Consumption Data Using Heavy-Duty Diesel Vehicles and On-Road Testing*, Master Thesis, West Virginia University, <https://researchrepository.wvu.edu/etd>.

[93] C. Wang et al., (2016), “Statistical methods and computing for big data”, *Statistics and Its Interface*, 9(4), 399–414, DOI: 10.4310/SII.2016.v9.n4.a1.

[94] Choi, Lee, Lee, (2025), “Concordance correlation coefficients for multivariate measurements”, *Journal of the Korean Statistical Society*, DOI: 10.1007/s42952-025-00315-5.

[95] ExtractAlpha, (2024), *Statistical Comparison of Two Data Sets*, <https://extractalpha.com/2024/08/01/statistical-comparison-of-two-data-sets/>.

[96] Python-Bloggers, (2024), *Step-by-Step Guide to Using the Concordance Correlation Coefficient*, <https://python-bloggers.com/2024/10/step-by-step-guide-to-using-the-concordance-correlation-coefficient/>.

PHỤ LỤC

PHỤ LỤC 1. CODE MATLAB và SIMULINK MÔ PHỎNG MỨC TIÊU THỤ NHIÊN LIỆU FC.....	1
PHỤ LỤC 2. VẬN TỐC VÀ FC THEO THỜI GIAN THỰC.....	14
PHỤ LỤC 3. HÌNH ẢNH THÍ NGHIỆM.....	23
PHỤ LỤC 4. GIẤY CHỨNG NHẬN KẾT QUẢ ĐO, THỬ NGHIỆM	24

PHỤ LỤC 1

CODE MATLAB và SIMULINK

MÔ PHỎNG MỨC TIÊU THỤ NHIÊN LIỆU FC

1.1 Mã Matlab

```

%% Đại học Công nghiệp Hà Nội - Luận án tiến sĩ
%% Mô phỏng Tính toán tiêu thụ nhiên liệu trên xe con Toyota Vios 2009
%% Vận tốc xe mô phỏng và thí nghiệm theo thời gian thực quãng đường chu trình 1 ngày 07/3/2024, t
= 3681 (s)
%% Mô hình dao động 7 DOF, mô hình hóa kích thích mặt đường hỗn hợp Sin, Xung, ISO 8608
%% Lái xe thí nghiệm: NCS Ngô Quang Tạo

% Giả thiết:
% - Tay số truyền: Tự động xác định theo vận tốc thực
% - Hiệu suất hệ thống truyền lực: Tự động biến thiên theo tải và RPM

% -----
% MATLAB Version: 24.1.0.2537033 (R2024a)
% MATLAB License Number: 968398
% Operating System: Microsoft Windows 11 Pro Version 10.0 (Build 26100)
% Java Version: Java 1.8.0_202-b08 with Oracle Corporation Java HotSpot(TM) 64-Bit Server VM mixed
mode
% Computer: Installed Ram 128 GB (128 GB usable). Processor 11th Gen Intel(R) Core(TM) i7-11850H
@ 2.50GHz (2.50 GHz)

clear; clc; close all;

%% ===== PHẦN 1: ĐỌC VÀ XỬ LÝ DỮ LIỆU VẬN TỐC THỰC TẾ ĐO ĐƯỢC =====

fprintf('=== ĐỌC DỮ LIỆU VẬN TỐC XE TỪ BẢNG EXCEL ===\n');

clear all; clc;

% Xóa workspace và command window để làm sạch các dữ liệu trước đó
clear;
clc;

%% ===== 1.1: TAO file.mat =====
% Đọc dữ liệu từ file thí nghiệm
filename = 'E:\18. MP tiêu thụ nhiên liệu FC và các lực cản khi xe chuyển động của NQTạo\6. Bản chuẩn
Mô phỏng tiêu thụ nhiên liệu \dulieuthinghiemvantoc_V1L2';
data = readmatrix(filename);

% Tách dữ liệu thành 2 cột
index = data(:, 1); % Cột 1: Chỉ số điểm đo
van_toc = data(:, 2); % Cột 2: Vận tốc thực km/h

% Tạo bảng dữ liệu (table) để quản lý
Van_toc_TN = table(index, van_toc, ...
'VariableNames', {'STT', 'VanToc'});

% Hiển thị thông tin về dữ liệu
fprintf('Đã đọc thành công file %s\n', filename);
fprintf('Số dòng dữ liệu: %d\n', height(Van_toc_TN));

```

```

fprintf('Vận tốc trung bình: %.2f\n', mean(van_toc));
fprintf('Vận tốc min: %.2f\n', min(van_toc));
fprintf('Vận tốc max: %.2f\n', max(van_toc));

% Lưu dữ liệu vào file .mat
save('Van_toc_TN.mat', 'index', 'van_toc');

fprintf('\nĐã lưu file Van_toc_TN.mat thành công!\n');
fprintf('File chứa các biến: Van_toc_TN (table), index, van_toc\n');

% Hiện thị 10 dòng đầu tiên để kiểm soát
disp('10 dòng đầu tiên của dữ liệu:');
disp(Van_toc_TN(1:10, :));

% Load file đã fix
load('Van_toc_TN.mat');

%% ===== 1.2 TẠO TIMESERIES OBJECT =====
% Đọc trực tiếp Excel kết quả thí nghiệm
filename = 'E:\18. MP tiêu thụ nhiên liệu FC và các lực cản khi xe chuyển động của Tạo\6. Bản chuẩn
cuối cùng Mô phỏng tiêu thụ nhiên liệu của Tạo\dulieuthinghiemvantoc_V1L2.xlsx';
if exist(filename, 'file')
    data = readtable(filename, 'Sheet', 'Sheet1', 'VariableNamingRule', 'preserve');

% Hiện thị tên cột để kiểm tra
disp('Tên các cột:');
disp(data.Properties.VariableNames);

% Truy cập dữ liệu
t = data(:, 1); % hoặc data("t_s") nếu preserve hoạt động
v_kmh = data(:, 2); % hoặc data("V_km_h")
v_ms = v_kmh / 3.6;

% Tạo TIMESERIES object chuẩn
ts_kmh = timeseries(v_kmh, t, 'Name', 'Velocity_kmh');
ts_kmh.TimeInfo.Units = 'seconds';
ts_kmh.DataInfo.Units = 'km/h';

ts_ms = timeseries(v_ms, t, 'Name', 'Velocity_ms');
ts_ms.TimeInfo.Units = 'seconds';
ts_ms.DataInfo.Units = 'm/s';

fprintf('\nĐã tạo TIMESERIES objects:\n');
fprintf(' - ts_kmh: Timeseries với %d điểm\n', ts_kmh.Length);
fprintf(' - ts_ms: Timeseries với %d điểm\n', ts_ms.Length);

fprintf('\nCẤU HÌNH BLOCK "FROM WORKSPACE":\n');
fprintf('-----\n');
fprintf(' Data:          ts_kmh (hoặc ts_ms)\n');
fprintf(' Sample time:    -1\n');
fprintf(' Interpolation:  Linear\n');
fprintf(' Form of signal: Timeseries\n');

% Lưu file
save('velocity_timeseries_matlab.mat', 'ts_kmh', 'ts_ms', 't', 'v_kmh', 'v_ms');
fprintf('✓ Đã lưu file: velocity_timeseries_matlab.mat\n');
else
end

```

```

fprintf('CÁC BIẾN HIỆN CÓ TRONG WORKSPACE:\n');
whos

fprintf('\n✓ Script đã chạy xong. Sử dụng các biến trên trong Simulink!\n');

%% ===== PHẦN 2: ĐỌC VÀ XỬ LÝ DỮ LIỆU MỨC NHIÊN LIỆU TIÊU THỤ THỰC TẾ ĐO ĐƯỢC
=====

% Đường dẫn file FC (điều chỉnh theo đường dẫn lưu thực tế)
fc_file = 'E:\18. MP tiêu thụ nhiên liệu FC và các lực cản khi xe chuyển động của Tạo\6. Bản chuẩn cuối
cùng Mô phỏng tiêu thụ nhiên liệu của Tạo\dulieuthinghiemnhienlieu_FC1L2.xlsx';

% Kiểm tra file tồn tại
if ~exist(fc_file, 'file')
    warning('File FC không tìm thấy! Tạo dữ liệu FC từ mô hình.');
```

```

    use_measured_fc = false;
    fc_value_raw = [];
    fc_kg_raw = [];
    t_fc_raw = [];
else
    % Đọc dữ liệu từ Excel
    data_fc = readtable(fc_file, 'Sheet', 'FC1L2');
```

```

    % Lấy các cột dữ liệu
    diem_do = data_fc.Var1;      % Cột "Điểm đo"
    fc_value_raw = data_fc.Var2; % Cột "FC"
    fc_kg_raw = data_fc.Var3;    % Cột "FC (kg)"

    % Xử lý dữ liệu NaN
    fc_value_raw = fillmissing(fc_value_raw, 'linear');
    fc_kg_raw = fillmissing(fc_kg_raw, 'linear');
```

```

    % Tạo vector thời gian cho FC (giả định mỗi điểm đo cách nhau 1 giây)
    time_interval_fc = 1; % giây
    t_fc_raw = (0:length(diem_do)-1) * time_interval_fc;

    use_measured_fc = true;

    % Tạo TIMESERIES FC chuẩn
    fc_kg_data = data_fc.Var3; % Đổi tên biến
    fc_kg_ts = timeseries(fc_kg_data, t_fc_raw, 'Name', 'fc_kg_raw');
```

```

    fprintf('✓ Đã đọc file FC: %s\n', fc_file);
    fprintf(' Số điểm dữ liệu FC: %d\n', length(fc_value_raw));
    fprintf(' Thời gian FC: %.2f s (%.2f phút)\n', t_fc_raw(end), t_fc_raw(end)/60);
    fprintf(' FC trung bình: %.4f\n', mean(fc_value_raw));
    fprintf(' FC (kg) trung bình: %.4f kg\n\n', mean(fc_kg_raw));
end

%% ===== PHẦN 3: TẠO PROFILE MẤP MÔ MẶT ĐƯỜNG VÀ TÍN HIỆU KÍCH THÍCH 4 BÁNH XE
=====

fprintf('\n=== TẠO PROFILE MẤP MÔ ĐƯỜNG ===\n');
% Thông số chung
fs = 1000; % Tần số lấy mẫu (Hz)
v_avg = mean(v_ms(v_ms > 0)); % Vận tốc trung bình của xe

if isnan(v_avg) || v_avg == 0
```

```

v_avg = 16.67; % 60 km/h = 16.67 m/s
warning('Sử dụng vận tốc thực tế: %.1f m/s', v_avg);
end

% Tạo dữ liệu mẫu
time_vec = (0:0.1:24816.9)';

% Tạo vector thời gian cho road profile (có thể khác với time_vec do có độ trượt của bánh xe với mặt
đường)
t_road = 0:1/fs:max(time_vec);

%% === 3.1 TÍN HIỆU SIN ===
f_low = 0.5; % Hz - Gõ ghè lớn, gây rung động lớn
f_mid = 2.0; % Hz - Ổ gà trung bình, gây rung và dao động
f_high = 8.0; % Hz - Mấp mô nhỏ, gây rung động và dao động nhỏ

A_low = 0.05; % 5 cm
A_mid = 0.03; % 3 cm
A_high = 0.01; % 1 cm

road_sin = A_low * sin(2*pi*f_low*t_road) + ...
    A_mid * sin(2*pi*f_mid*t_road + pi/3) + ...
    A_high * sin(2*pi*f_high*t_road + pi/6);

% Cộng thêm nhiễu nhỏ
noise_amplitude = 0.002; % 2 mm
road_sin = road_sin + noise_amplitude * randn(size(t_road));

%% === 3.2 TÍN HIỆU XUNG ===
road_pulse = zeros(size(t_road));

% Thời gian xuất hiện gồ mấp mô/hố sâu - ổ gà (để phù hợp với thời gian thí nghiệm thực tế)
bump_times = linspace(max(t_road)*0.1, max(t_road)*0.9, 6); % 6 gồ mấp mô phân bố đều
pothole_times = linspace(max(t_road)*0.15, max(t_road)*0.85, 5); % 5 hố sâu (ổ gà)

bump_width = 1.5; % Độ rộng gồ (s)
bump_height = 0.06; % Chiều cao gồ 6 (cm)

for i = 1:length(bump_times)
    if bump_times(i) <= max(t_road)
        pulse_indices = abs(t_road - bump_times(i)) <= bump_width;
        road_pulse(pulse_indices) = road_pulse(pulse_indices) + ...
            bump_height * exp(-((t_road(pulse_indices) - bump_times(i))/0.4).^2);
    end
end

% Tạo các hố sâu (ổ gà)
pothole_depth = -0.04; % Giả thiết độ sâu ổ gà 4 cm
pothole_width = 1.0; % Giả thiết Độ rộng ổ gà

for i = 1:length(pothole_times)
    if pothole_times(i) <= max(t_road)
        pulse_indices = abs(t_road - pothole_times(i)) <= pothole_width;
        road_pulse(pulse_indices) = road_pulse(pulse_indices) + ...
            pothole_depth * exp(-((t_road(pulse_indices) - pothole_times(i))/0.3).^2);
    end
end

%% === 3.3 TÍN HIỆU ISO 8608 với giả thiết CLASS C là phổ biến ===

```

```

% Thông số ISO 8608
n0 = 0.1;      % Tần số không gian tham chiếu (cycle/m)
Gd_n0 = 1024e-6; % PSD tại n0 cho Class C (m³)
w = 2;        % Hệ số waviness

% Tạo tín hiệu ISO 8608 (sử dụng phương pháp cơ bản: đơn giản hóa)
N_points = length(t_road);
dt = 1/fs;

% Tạo nhiễu trắng và lọc tạo PSD mong muốn
white_noise = randn(1, N_points);

% Tạo bộ lọc cho ISO 8608 (approximation)
fc = 2; % Tần số cắt (Hz)
[b, a] = butter(2, fc/(fs/2), 'low');
road_iso_8608 = filter(b, a, white_noise);

% Chuẩn hóa tạo RMS phù hợp với Class C
target_rms = 0.02; % 2 cm RMS cho đường phổ biến Class C
current_rms = rms(road_iso_8608);
if current_rms > 0
    road_iso_8608 = road_iso_8608 * (target_rms / current_rms);
end

%% === 3.4 KẾT HỢP CÁC TÍN HIỆU THÀNH ĐƯỜNG HỒN HỢP SỬ DỤNG TRONG MÔ PHÒNG
===
% Trọng số cho các thành phần
w_iso = 1.0; % ISO 8608 lấy làm nền
w_sin = 0.4; % Có mấp mô Sin dao động nhẹ
w_pulse = 1.0; % Mấp mô Xung giữ nguyên

road_combined = w_iso * road_iso_8608 + w_sin * road_sin + w_pulse * road_pulse;

%% === 3.5 TẠO TÍN HIỆU KÍCH THÍCH CHO 4 BÁNH XE ===
% Thông số xe
wheelbase = 2.7; % Chiều dài cơ sở (m)
track_width = 1.6; % Chiều rộng cơ sở (m)

% Độ trễ thời gian giữa bánh trước và sau
time_delay = wheelbase / v_avg; % giây
delay_samples = round(time_delay * fs);

% Đảm bảo delay_samples không vượt quá độ dài mảng
delay_samples = min(delay_samples, floor(length(road_combined)/2));

% Bánh trước trái (Front Left)
road_FL = road_combined;

% Bánh trước phải (Front Right)
road_FR = road_combined * 0.95 + 0.003 * sin(2*pi*1.5*t_road);

% Bánh sau trái (Rear Left) - có độ trễ
if delay_samples > 0 && delay_samples < length(road_combined)
    road_RL = [zeros(1, delay_samples), road_FL(1:end-delay_samples)];
else
    road_RL = road_FL; % Không có độ trễ nếu không phù hợp
end

% Bánh sau phải (Rear Right) - có độ trễ

```

```

if delay_samples > 0 && delay_samples < length(road_combined)
    road_RR = [zeros(1, delay_samples), road_FR(1:end-delay_samples)];
else
    road_RR = road_FR;
end

%% ===== 3.6 TẠO TIMESERIES CHO ROAD PROFILES =====
% Sử dụng hàm nội suy road profiles về cùng thời gian với velocity data
road_FL_interp = interp1(t_road, road_FL, time_vec, 'linear', 'extrap');
road_FR_interp = interp1(t_road, road_FR, time_vec, 'linear', 'extrap');
road_RL_interp = interp1(t_road, road_RL, time_vec, 'linear', 'extrap');
road_RR_interp = interp1(t_road, road_RR, time_vec, 'linear', 'extrap');
road_combined_interp = interp1(t_road, road_combined, time_vec, 'linear', 'extrap');

% Tạo timeseries
road_FL_ts = timeseries(road_FL_interp, time_vec);
road_FL_ts.Name = 'RoadProfile_FrontLeft';
road_FL_ts.DataInfo.Units = 'm';

road_FR_ts = timeseries(road_FR_interp, time_vec);
road_FR_ts.Name = 'RoadProfile_FrontRight';
road_FR_ts.DataInfo.Units = 'm';

road_RL_ts = timeseries(road_RL_interp, time_vec);
road_RL_ts.Name = 'RoadProfile_RearLeft';
road_RL_ts.DataInfo.Units = 'm';

road_RR_ts = timeseries(road_RR_interp, time_vec);
road_RR_ts.Name = 'RoadProfile_RearRight';
road_RR_ts.DataInfo.Units = 'm';

road_combined_ts = timeseries(road_combined_interp, time_vec);
road_combined_ts.Name = 'RoadProfile_Combined';
road_combined_ts.DataInfo.Units = 'm';

fprintf('✓ Đã tạo road profiles cho 4 bánh xe\n');

%% ===== PHẦN 4: DAO ĐỘNG XE CHẠY TRÊN ĐƯỜNG - MÔ HÌNH TREO ĐỘC LẬP 7 DOF =====

%% ===== 4.1 Khai báo thông số hệ thống =====
fprintf('\n==== THIẾT LẬP THÔNG SỐ HỆ THỐNG ==== \n');
% Thông số khối lượng (kg)
m = 1170;      % Khối lượng được treo
mf = 610;     % Khối lượng không được treo trước
mr = 560;     % Khối lượng không được treo sau

% Moment quán tính (kg.m²)
Ix = 5770;    % Moment quán tính theo trục x (roll)
Iy = 18966;   % Moment quán tính theo trục y (pitch)

% Độ cứng hệ thống treo (N/m)
kf = 158796;  % Độ cứng hệ thống treo trước
kr = 127460;  % Độ cứng hệ thống treo sau

% Hệ số giảm chấn (N.s/m)
cf = 2667;    % Hệ số giảm chấn trước
cr = 3323;    % Hệ số giảm chấn sau

% Độ cứng lốp (N/m)

```

k_{tf} = 480000; % Độ cứng lớp trước
k_{tr} = 960000; % Độ cứng lớp sau

% Kích thước xe (m)

a₁ = 1.02; % Khoảng cách từ trọng tâm đến trục trước
a₂ = 1.68; % Khoảng cách từ trọng tâm đến trục sau
b₁ = 0.8; % Khoảng cách từ trọng tâm đến bánh xe trái
b₂ = 0.8; % Khoảng cách từ trọng tâm đến bánh xe phải

%% ===== 4.2 XÂY DỰNG MA TRẬN TRẠNG THÁI =====
fprintf('\n=== XÂY DỰNG MA TRẬN HỆ THỐNG ===\n');

% Ma trận trạng thái A

A1=[0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0];
A2=[0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0];
A3=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0];
A4=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0];
A5=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0];
A6=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0];
A7=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1];

% Dòng 8: Phương trình z_dot_dot

A801 = -(2*k_f + 2*k_r)/m;
A802 = -(b₁*k_f - b₂*k_f - b₁*k_r + b₂*k_r)/m;
A803 = (2*a₁*k_f - 2*a₂*k_r)/m;
A804 = k_f/m;
A805 = k_f/m;
A806 = k_r/m;
A807 = k_r/m;
A808 = -(2*c_f + 2*c_r)/m;
A809 = -(b₁*c_f - b₂*c_f - b₁*c_r + b₂*c_r)/m;
A810 = (2*a₁*c_f - 2*a₂*c_r)/m;
A811 = c_f/m;
A812 = c_f/m;
A813 = c_r/m;
A814 = c_r/m;
A8=[A801 A802 A803 A804 A805 A806 A807 A808 A809 A810 A811 A812 A813 A814];

% Dòng 9: Phương trình phi_dot_dot

A901 = -(b₁*k_f - b₂*k_f - b₁*k_r + b₂*k_r)/l_x;
A902 = -(b₁²*k_f + b₂²*k_f + b₁²*k_r + b₂²*k_r)/l_x;
A903 = (a₁*b₁*k_f - a₁*b₂*k_f + a₂*b₁*k_r - a₂*b₂*k_r)/l_x;
A904 = b₁*k_f/l_x;
A905 = -b₂*k_f/l_x;
A906 = -b₁*k_r/l_x;
A907 = b₂*k_r/l_x;
A908 = -(b₁*c_f - b₂*c_f - b₁*c_r + b₂*c_r)/l_x;
A909 = -(b₁²*c_f + b₂²*c_f + b₁²*c_r + b₂²*c_r)/l_x;
A910 = (a₁*b₁*c_f - a₁*b₂*c_f + a₂*b₁*c_r - a₂*b₂*c_r)/l_x;
A911 = b₁*c_f/l_x;
A912 = -b₂*c_f/l_x;
A913 = -b₁*c_r/l_x;
A914 = b₂*c_r/l_x;
A9=[A901 A902 A903 A904 A905 A906 A907 A908 A909 A910 A911 A912 A913 A914];

% Dòng 10: Phương trình theta_dot_dot

A1001 = (2*a₁*k_f - 2*a₂*k_r)/l_y;
A1002 = (a₁*b₁*k_f - a₁*b₂*k_f + a₂*b₁*k_r - a₂*b₂*k_r)/l_y;
A1003 = -(2*a₁²*k_f + 2*a₂²*k_r)/l_y;

```

A1004 = -a1*kf/ly;
A1005 = -a1*kf/ly;
A1006 = a2*kr/ly;
A1007 = a2*kr/ly;
A1008 = (2*a1*cf - 2*a2*cr)/ly;
A1009 = (a1*b1*cf - a1*b2*cf + a2*b1*cr - a2*b2*cr)/ly;
A1010 = -(2*a1^2*cf + 2*a2^2*cr)/ly;
A1011 = -a1*cf/ly;
A1012 = -a1*cf/ly;
A1013 = a2*cr/ly;
A1014 = a2*cr/ly;
A10=[A1001 A1002 A1003 A1004 A1005 A1006 A1007 A1008 A1009 A1010 A1011 A1012 A1013
A1014];

```

```

% Dong 11: Phuong trinh z1_dot_dot (khoi luong truoc trai)

```

```

A1101 = kf/mf;
A1102 = -b1*kf/mf;
A1103 = a1*kf/mf;
A1104 = -(kf + ktf)/mf;
A1105 = 0;
A1106 = 0;
A1107 = 0;
A1108 = cf/mf;
A1109 = -b1*cf/mf;
A1110 = a1*cf/mf;
A1111 = -cf/mf;
A1112 = 0;
A1113 = 0;
A1114 = 0;
A11=[A1101 A1102 A1103 A1104 A1105 A1106 A1107 A1108 A1109 A1110 A1111 A1112 A1113
A1114];

```

```

% Dong 12: Phuong trinh z2_dot_dot (khoi luong truoc phai)

```

```

A1201 = kf/mf;
A1202 = b2*kf/mf;
A1203 = a1*kf/mf;
A1204 = 0;
A1205 = -(kf + ktf)/mf;
A1206 = 0;
A1207 = 0;
A1208 = cf/mf;
A1209 = b2*cf/mf;
A1210 = a1*cf/mf;
A1211 = 0;
A1212 = -cf/mf;
A1213 = 0;
A1214 = 0;
A12=[A1201 A1202 A1203 A1204 A1205 A1206 A1207 A1208 A1209 A1210 A1211 A1212 A1213
A1214];

```

```

% Dong 13: Phuong trinh z3_dot_dot (khoi luong sau trai)

```

```

A1301 = kr/mr;
A1302 = -b1*kr/mr;
A1303 = -a2*kr/mr;
A1304 = 0;
A1305 = 0;
A1306 = -(kr + ktr)/mr;
A1307 = 0;
A1308 = cr/mr;

```

```

A1309 = -b1*cr/mr;
A1310 = -a2*cr/mr;
A1311 = 0;
A1312 = 0;
A1313 = -cr/mr;
A1314 = 0;
A13=[A1301 A1302 A1303 A1304 A1305 A1306 A1307 A1308 A1309 A1310 A1311 A1312 A1313
A1314];

```

```

% Dong 14: Phuong trinh z4_dot_dot (khoi luong sau phai)

```

```

A1401 = kr/mr;
A1402 = b2*kr/mr;
A1403 = -a2*kr/mr;
A1404 = 0;
A1405 = 0;
A1406 = 0;
A1407 = -(kr + ktr)/mr;
A1408 = cr/mr;
A1409 = b2*cr/mr;
A1410 = -a2*cr/mr;
A1411 = 0;
A1412 = 0;
A1413 = 0;
A1414 = -cr/mr;
A14=[A1401 A1402 A1403 A1404 A1405 A1406 A1407 A1408 A1409 A1410 A1411 A1412 A1413
A1414];

```

```

% Ghep cac dong thanh ma tran A

```

```

A=[A1; A2; A3; A4; A5; A6; A7; A8; A9; A10; A11; A12; A13; A14];

```

```

% Ma tran dau vao B

```

```

B1=[0 0 0 0 0 0];
B2=[0 0 0 0 0 0];
B3=[0 0 0 0 0 0];
B4=[0 0 0 0 0 0];
B5=[0 0 0 0 0 0];
B6=[0 0 0 0 0 0];
B7=[0 0 0 0 0 0];
B8=[0 0 0 0 0 0];
B9=[0 0 0 0 0 0];
B10=[0 0 0 0 0 0];
B11=[ktr/mf 0 0 0 0 0];
B12=[0 ktr/mf 0 0 0 0];
B13=[0 0 ktr/mr 0 0 0];
B14=[0 0 0 ktr/mr 0 0];
B=[B1;B2;B3;B4;B5;B6;B7;B8;B9;B10;B11;B12;B13;B14];

```

```

% Ma tran dau ra C (chon tat ca cac trang thai lam dau ra)

```

```

C1=[1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]; % z
C2=[0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]; % phi
C3=[0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]; % theta
C4=[0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]; % z1
C5=[0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0]; % z2
C6=[0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0]; % z3
C7=[0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0]; % z4
C8=[0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0]; % z_dot
C9=[0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0]; % phi_dot
C10=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0]; % theta_dot
C11=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0]; % z1_dot

```

```

C12=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0]; % z2_dot
C13=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0]; % z3_dot
C14=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1]; % z4_dot
C=[C1;C2;C3;C4;C5;C6;C7;C8;C9;C10;C11;C12;C13;C14];

```

```

% Ma tran truyen thang D

```

```

D1=[0 0 0 0 0];
D2=[0 0 0 0 0];
D3=[0 0 0 0 0];
D4=[0 0 0 0 0];
D5=[0 0 0 0 0];
D6=[0 0 0 0 0];
D7=[0 0 0 0 0];
D8=[0 0 0 0 0];
D9=[0 0 0 0 0];
D10=[0 0 0 0 0];
D11=[0 0 0 0 0];
D12=[0 0 0 0 0];
D13=[0 0 0 0 0];
D14=[0 0 0 0 0];
D=[D1;D2;D3;D4;D5;D6;D7;D8;D9;D10;D11;D12;D13;D14];

```

```

% Tạo hệ thống trạng thái
sys = ss(A, B, C, D);

```

```

fprintf('✓ Đã xây dựng hệ thống trạng thái 7 DOF cho Simulink\n');

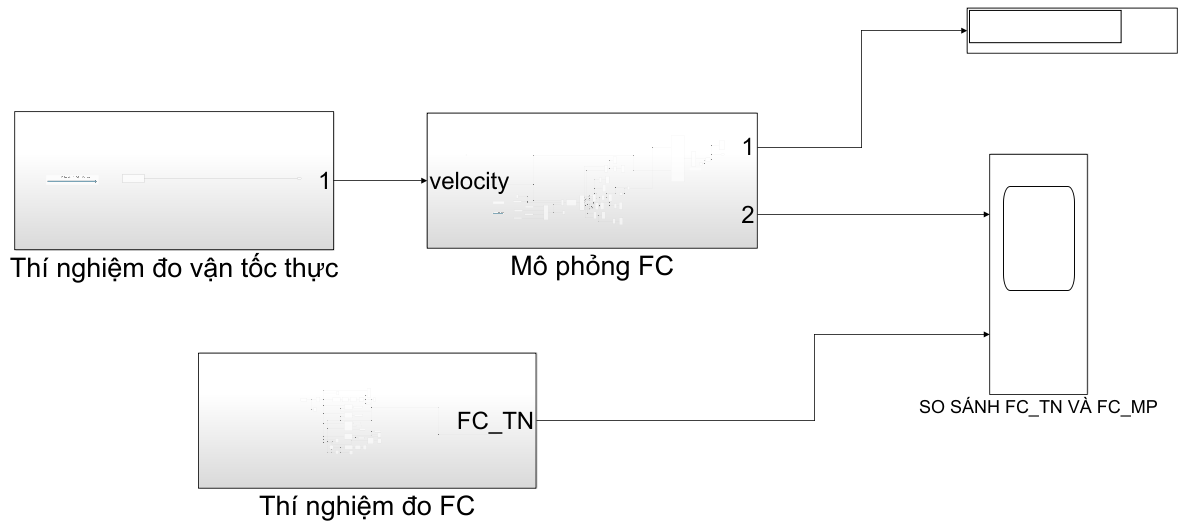
```

```

%% ===== ĐÃ HOÀN THÀNH DỮ LIỆU CHO SIMULINK - SẴN SÀNG CHẠY MÔ PHÒNG =====

```

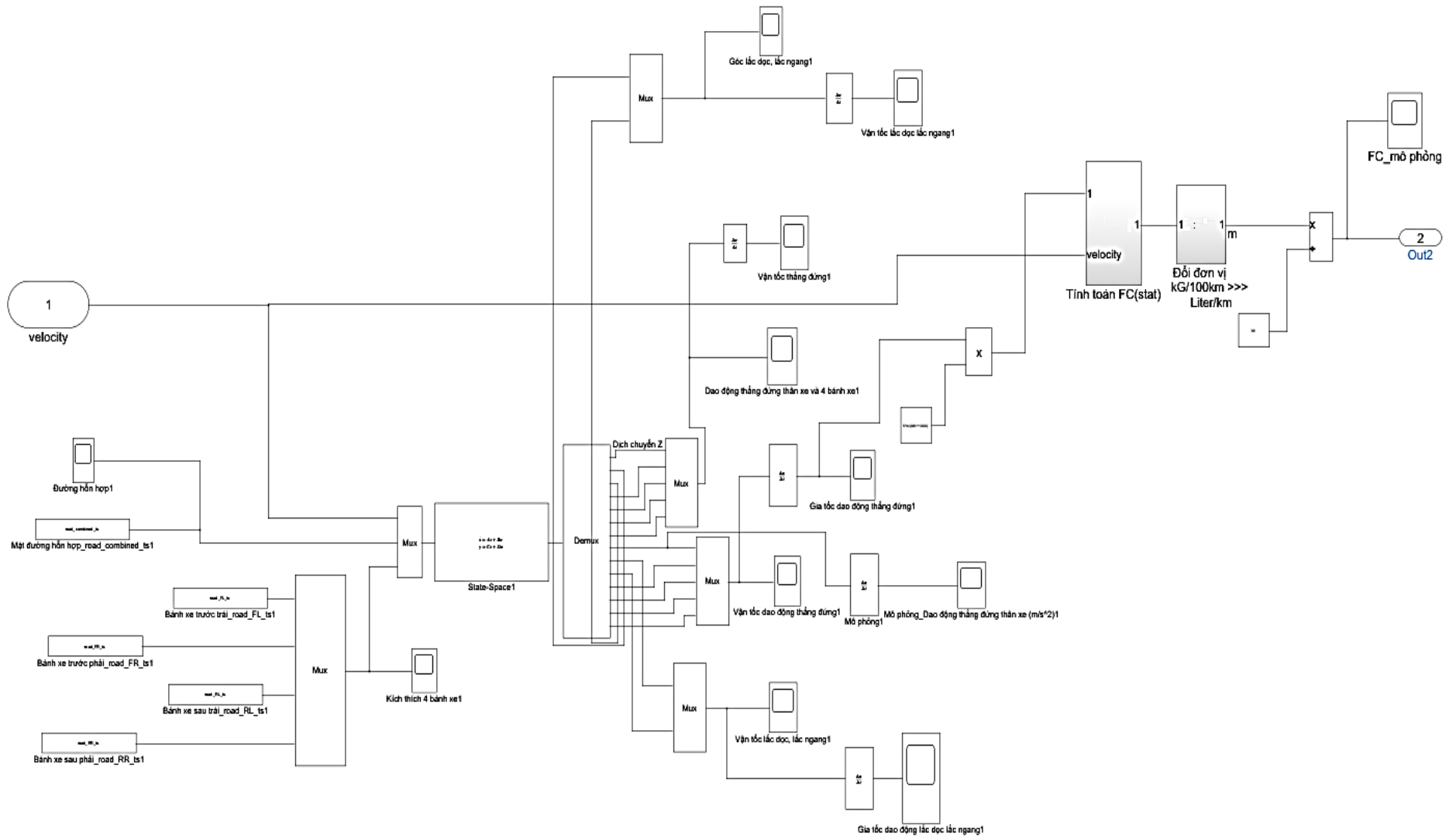
1.2 Sơ đồ Simulink



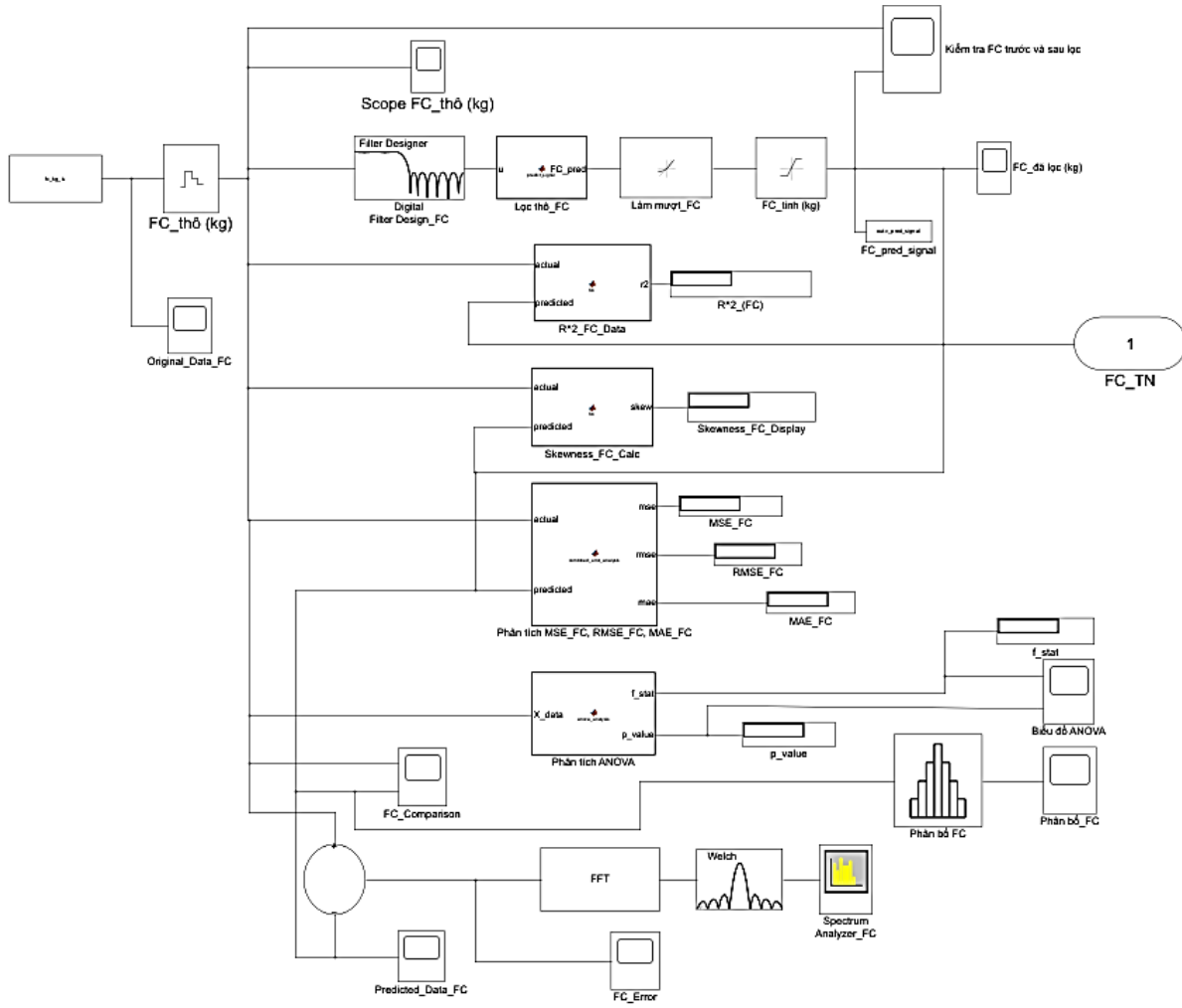
Hình 1.1. Sơ đồ Simulink tổng thể



Hình 1.2. Khối đầu vào thí nghiệm đo vận tốc thực



Hình 1.3. Khối mô phỏng FC



Hình 1.4. Khối thí nghiệm đo FC

PHỤ LỤC 2
VẬN TỐC VÀ FC THEO THỜI GIAN THỰC

Điểm đo	Thời gian	Tổng thời gian (giây)	Vận tốc (km/h)	Áp lực (kg)	Khối lượng nhiên liệu(kg)	Bướm ga (%)
1	2024-04-07 04:11:47.357	1	0	0	12.464	12
2	2024-04-07 04:11:47.397	1	0	0	12.473	12
3	2024-04-07 04:11:48.280	2	0	0	12.473	12
4	2024-04-07 04:11:48.330	2	0	0	12.474	12
5	2024-04-07 04:11:49.198	3	0	0	12.474	12
6	2024-04-07 04:11:49.267	3	0	0	12.485	12
7	2024-04-07 04:11:50.120	4	0	0	12.485	12
8	2024-04-07 04:11:50.188	4	0	0	12.459	12
9	2024-04-07 04:11:51.036	5	0	0	12.459	12
10	2024-04-07 04:11:51.105	5	0	0	12.474	13
11	2024-04-07 04:11:52.031	6	0	0	12.469	13
12	2024-04-07 04:11:52.988	7	0.8	0	12.452	13
13	2024-04-07 04:11:53.801	7	0.8	0	12.452	13
14	2024-04-07 04:11:53.870	8	2.3	0	12.477	13
15	2024-04-07 04:11:54.734	8	2.3	0	12.477	13
16	2024-04-07 04:11:54.804	8	3.2	0	12.461	13
17	2024-04-07 04:11:55.657	9	3.2	0	12.461	13
18	2024-04-07 04:11:55.714	9	4.7	0	12.542	13
19	2024-04-07 04:11:56.582	10	4.7	0	12.542	13
20	2024-04-07 04:11:56.643	10	6.2	0	12.628	14
21	2024-04-07 04:11:57.492	11	6.2	0	12.628	14
22	2024-04-07 04:11:57.561	11	7.6	0	12.317	15
23	2024-04-07 04:11:58.425	12	7.6	0	12.317	15
24	2024-04-07 04:11:58.478	12	9.1	0	12.8	15
25	2024-04-07 04:11:59.347	13	9.1	0	12.8	15
26	2024-04-07 04:11:59.392	13	10.6	0	12.532	14
27	2024-04-07 04:12:00.265	14	10.6	0	12.532	14
28	2024-04-07 04:12:00.314	14	10.9	0	12.667	16
29	2024-04-07 04:12:01.184	15	10.9	0	12.667	16
30	2024-04-07 04:12:01.235	15	11.2	0	12.116	16
31	2024-04-07 04:12:02.113	16	11.2	0	12.116	16
32	2024-04-07 04:12:03.058	17	13.3	0	12.425	16
33	2024-04-07 04:12:03.943	18	13.3	0	12.425	16
34	2024-04-07 04:12:04.011	18	13	0	12.425	18
35	2024-04-07 04:12:04.878	19	13	0	12.425	18
36	2024-04-07 04:12:04.937	19	13.9	0	12.563	18
37	2024-04-07 04:12:05.788	19	13.9	0	12.563	18
38	2024-04-07 04:12:05.829	19	17.1	0	13.179	18
39	2024-04-07 04:12:06.715	20	17.1	0	13.179	18
40	2024-04-07 04:12:06.764	20	20.1	0	12.151	16
41	2024-04-07 04:12:07.631	21	20.1	0	12.151	16
42	2024-04-07 04:12:07.672	21	21.6	0	12.248	16
43	2024-04-07 04:12:08.564	22	21.6	0	12.248	16
44	2024-04-07 04:12:08.617	22	23	0	12.63	12
45	2024-04-07 04:12:09.481	23	23	0	12.63	12
46	2024-04-07 04:12:09.547	23	23.9	0	12.531	12
47	2024-04-07 04:12:10.404	24	23.9	0	12.531	12
48	2024-04-07 04:12:10.443	24	23.3	0	12.376	12
49	2024-04-07 04:12:11.323	25	23.3	0	12.376	12
50	2024-04-07 04:12:11.374	25	22.7	0	12.254	14
51	2024-04-07 04:12:12.282	26	22.2	0	12.576	15

52	2024-04-07 04:12:12.319	26	22.2	0	12.576	15
53	2024-04-07 04:12:13.169	27	22.2	0	12.576	15
54	2024-04-07 04:12:13.184	27	22.2	0	12.576	15
55	2024-04-07 04:12:13.190	27	22.2	0	12.576	15
56	2024-04-07 04:12:13.196	27	22.2	0	12.576	15
57	2024-04-07 04:12:13.214	27	22.2	0	12.023	18
58	2024-04-07 04:12:14.094	28	22.2	0	12.023	18
59	2024-04-07 04:12:14.123	28	22.4	0	11.997	19
60	2024-04-07 04:12:15.002	29	22.4	0	11.997	19
61	2024-04-07 04:12:15.063	29	23.9	0	12.465	15
62	2024-04-07 04:12:15.926	30	23.9	0	12.465	15
63	2024-04-07 04:12:15.984	30	26.3	0	11.66	12
64	2024-04-07 04:12:16.859	31	26.3	0	11.66	12
65	2024-04-07 04:12:16.901	31	27.2	0	12.772	15
66	2024-04-07 04:12:17.775	31	27.2	0	12.772	15
67	2024-04-07 04:12:17.818	31	27.2	0	12.739	18
68	2024-04-07 04:12:18.689	32	27.2	0	12.739	18
69	2024-04-07 04:12:18.704	32	27.2	0	12.739	18
70	2024-04-07 04:12:18.723	32	27.2	0	12.739	18
71	2024-04-07 04:12:18.727	32	27.2	0	12.739	18
72	2024-04-07 04:12:18.737	32	27.5	0	12.012	19
73	2024-04-07 04:12:19.614	33	27.5	0	12.012	19
74	2024-04-07 04:12:19.663	33	28.4	0	12.493	20
75	2024-04-07 04:12:20.547	34	28.4	0	12.493	20
76	2024-04-07 04:12:20.572	34	29.8	0	12.21	20
77	2024-04-07 04:12:21.454	35	29.8	0	12.21	20
78	2024-04-07 04:12:21.472	35	29.8	0	12.21	20
79	2024-04-07 04:12:22.420	36	32.8	0	12.228	20
80	2024-04-07 04:12:23.308	37	32.8	0	12.228	20
81	2024-04-07 04:12:23.358	37	34.6	0	12.639	20
82	2024-04-07 04:12:24.223	38	34.6	0	12.639	20
83	2024-04-07 04:12:24.260	38	34.6	0	12.639	20
84	2024-04-07 04:12:24.270	38	36.1	0	12.621	15
85	2024-04-07 04:12:25.154	39	36.1	0	12.621	15
86	2024-04-07 04:12:25.169	39	36.1	0	12.621	15
87	2024-04-07 04:12:25.189	39	37	0	12.322	15
88	2024-04-07 04:12:26.078	40	37	0	12.322	15
89	2024-04-07 04:12:26.130	40	37.8	0	10.813	15
90	2024-04-07 04:12:26.995	41	37.8	0	10.813	15
91	2024-04-07 04:12:27.011	41	37.8	0	10.813	15
92	2024-04-07 04:12:27.021	41	37.8	0	10.813	15
93	2024-04-07 04:12:27.029	41	38.1	0	12.312	16
94	2024-04-07 04:12:27.912	42	38.1	0	12.312	16
95	2024-04-07 04:12:27.960	42	38.7	0	12.027	16
96	2024-04-07 04:12:28.842	42	38.7	0	12.027	16
97	2024-04-07 04:12:28.882	43	39	0	13.159	16
98	2024-04-07 04:12:29.750	43	39	0	13.159	16
99	2024-04-07 04:12:29.769	43	39	0	13.159	16
100	2024-04-07 04:12:29.784	43	39	0	13.159	16
101	2024-04-07 04:12:30.686	44	39.3	0	12.095	16
102	2024-04-07 04:12:30.723	44	39.3	0	12.815	16
103	2024-04-07 04:12:31.636	45	39.6	0	11.998	16
104	2024-04-07 04:12:31.672	45	39.6	0	11.998	16
105	2024-04-07 04:12:32.521	46	39.6	0	11.998	16
106	2024-04-07 04:12:32.574	46	39.9	0	12.442	16
107	2024-04-07 04:12:33.439	47	39.9	0	12.442	16
108	2024-04-07 04:12:33.499	47	39.9	0	12.234	15
109	2024-04-07 04:12:34.371	48	39.9	0	12.234	15

...						
...						
....						
7646	2024-04-07 05:08:26.898	3401	62.4	0	11.498	15
7647	2024-04-07 05:08:27.774	3401	62.4	0	11.498	15
7648	2024-04-07 05:08:27.832	3401	62.1	0	11.962	15
7649	2024-04-07 05:08:28.682	3402	62.1	0	11.962	15
7650	2024-04-07 05:08:28.741	3402	61.8	0	11.837	16
7651	2024-04-07 05:08:29.615	3403	61.8	0	11.837	16
7652	2024-04-07 05:08:29.661	3403	61.5	0	11.009	15
7653	2024-04-07 05:08:30.558	3404	61.5	0	11.181	15
7654	2024-04-07 05:08:30.618	3404	61.5	0	11.181	15
7655	2024-04-07 05:08:31.450	3405	61.5	0	11.181	15
7656	2024-04-07 05:08:31.519	3405	61.2	0	11.813	15
7657	2024-04-07 05:08:32.370	3406	61.2	0	11.813	15
7658	2024-04-07 05:08:32.444	3406	60.9	0	11.801	15
7659	2024-04-07 05:08:33.297	3407	60.9	0	11.801	15
7660	2024-04-07 05:08:33.325	3407	60.9	0	11.801	15
7661	2024-04-07 05:08:33.333	3407	60.9	0	11.208	16
7662	2024-04-07 05:08:34.218	3408	60.9	0	11.208	16
7663	2024-04-07 05:08:34.258	3408	60.9	0	11.373	16
7664	2024-04-07 05:08:35.134	3409	60.9	0	11.373	16
7665	2024-04-07 05:08:35.202	3409	60.9	0	11.029	16
7666	2024-04-07 05:08:36.051	3410	60.9	0	11.029	16
7667	2024-04-07 05:08:36.120	3410	60.9	0	11.318	17
7668	2024-04-07 05:08:36.974	3411	60.9	0	11.318	17
7669	2024-04-07 05:08:37.029	3411	61.2	0	11.915	17
7670	2024-04-07 05:08:37.900	3412	61.2	0	11.915	17
7671	2024-04-07 05:08:37.953	3412	61.5	0	11.665	16
7672	2024-04-07 05:08:38.817	3412	61.5	0	11.665	16
7673	2024-04-07 05:08:38.883	3413	61.8	0	11.635	17
7674	2024-04-07 05:08:39.733	3413	61.8	0	11.635	17
7675	2024-04-07 05:08:39.776	3413	61.8	0	11.635	17
7676	2024-04-07 05:08:40.693	3414	62.1	0	11.314	17
7677	2024-04-07 05:08:41.584	3415	62.1	0	11.314	17
7678	2024-04-07 05:08:41.641	3415	62.4	0	11.5	17
7679	2024-04-07 05:08:42.506	3416	62.4	0	11.5	17
7680	2024-04-07 05:08:42.563	3416	62.7	0	11.761	17
7681	2024-04-07 05:08:43.428	3417	62.7	0	11.761	17
7682	2024-04-07 05:08:43.476	3417	63	0	11.837	17
7683	2024-04-07 05:08:44.346	3418	63	0	11.837	17
7684	2024-04-07 05:08:44.399	3418	63.3	0	11.823	17
7685	2024-04-07 05:08:45.263	3419	63.3	0	11.823	17
7686	2024-04-07 05:08:45.316	3419	63.6	0	11.853	17
7687	2024-04-07 05:08:46.190	3420	63.6	0	11.853	17
7688	2024-04-07 05:08:46.241	3420	63.9	0	12.431	17
7689	2024-04-07 05:08:47.104	3421	63.9	0	12.431	17

7690	2024-04-07 05:08:47.160	3421	64.5	0	11.465	17
7691	2024-04-07 05:08:48.025	3422	64.5	0	11.465	17
7692	2024-04-07 05:08:48.072	3422	64.8	0	12.028	17
7693	2024-04-07 05:08:48.953	3423	64.8	0	12.028	17
7694	2024-04-07 05:08:48.999	3423	65.1	0	11.523	17
7695	2024-04-07 05:08:49.899	3424	65.4	0	12.053	18
7696	2024-04-07 05:08:49.957	3424	65.4	0	12.053	18
7697	2024-04-07 05:08:50.798	3424	65.4	0	12.053	18
7698	2024-04-07 05:08:50.843	3424	65.7	0	11.132	17
7699	2024-04-07 05:08:51.707	3425	65.7	0	11.132	17
7700	2024-04-07 05:08:51.768	3425	65.7	0	11.394	18
7701	2024-04-07 05:08:52.638	3426	65.7	0	11.394	18
7702	2024-04-07 05:08:52.667	3426	65.7	0	11.394	18
7703	2024-04-07 05:08:52.675	3426	66	0	11.115	18
7704	2024-04-07 05:08:53.550	3427	66	0	11.115	18
7705	2024-04-07 05:08:53.612	3427	66.3	0	15.209	17
7706	2024-04-07 05:08:54.478	3428	66.3	0	15.209	17
7707	2024-04-07 05:08:54.528	3428	66	0	11.737	17
7708	2024-04-07 05:08:55.395	3429	66	0	11.737	17
7709	2024-04-07 05:08:55.448	3429	65.7	0	12.124	17
7710	2024-04-07 05:08:56.311	3430	65.7	0	12.124	17
7711	2024-04-07 05:08:56.372	3430	65.7	0	6.271	15
7712	2024-04-07 05:08:57.237	3431	65.7	0	6.271	15
7713	2024-04-07 05:08:57.290	3431	65.1	0	11.733	15
7714	2024-04-07 05:08:58.156	3432	65.1	0	11.733	15
7715	2024-04-07 05:08:58.200	3432	64.5	0	10.948	14
7716	2024-04-07 05:08:59.087	3433	64.5	0	10.948	14
7717	2024-04-07 05:08:59.121	3433	63.6	0	10.983	14
7718	2024-04-07 05:09:00.039	3434	63	0	11.375	15
7719	2024-04-07 05:09:00.081	3434	63	0	11.375	15
7720	2024-04-07 05:09:00.926	3435	63	0	11.375	15
7721	2024-04-07 05:09:00.961	3435	62.4	0	10.596	15
7722	2024-04-07 05:09:01.842	3435	62.4	0	10.596	15
7723	2024-04-07 05:09:01.909	3436	61.5	0	10.666	15
7724	2024-04-07 05:09:02.760	3436	61.5	0	10.666	15
7725	2024-04-07 05:09:02.829	3436	60.9	0	11.598	16
7726	2024-04-07 05:09:03.693	3437	60.9	0	11.598	16
7727	2024-04-07 05:09:03.730	3437	59.7	0	11.427	18
7728	2024-04-07 05:09:04.610	3438	59.7	0	11.427	18
7729	2024-04-07 05:09:04.648	3438	59.4	0	11.369	20
7730	2024-04-07 05:09:05.521	3439	59.4	0	11.369	20
7731	2024-04-07 05:09:05.583	3439	59.7	0	14.486	21
7732	2024-04-07 05:09:06.448	3440	59.7	0	14.486	21
7733	2024-04-07 05:09:06.518	3440	60.3	0	10.604	21
7734	2024-04-07 05:09:07.365	3441	60.3	0	10.604	21
7735	2024-04-07 05:09:07.438	3441	60.9	0	11.466	21

7736	2024-04-07 05:09:08.291	3442	60.9	0	11.466	21
7737	2024-04-07 05:09:08.360	3442	62.1	0	11.369	20
7738	2024-04-07 05:09:09.209	3443	62.1	0	11.369	20
7739	2024-04-07 05:09:09.273	3443	62.7	0	10.381	19
7740	2024-04-07 05:09:10.160	3444	63.6	0	10.488	16
7741	2024-04-07 05:09:10.227	3444	63.6	0	10.488	16
7742	2024-04-07 05:09:11.059	3445	63.6	0	10.488	16
7743	2024-04-07 05:09:11.114	3445	63.3	0	11.706	16
7744	2024-04-07 05:09:11.970	3446	63.3	0	11.706	16
7745	2024-04-07 05:09:12.039	3446	63.3	0	11.751	16
7746	2024-04-07 05:09:12.904	3447	63.3	0	11.751	16
7747	2024-04-07 05:09:12.950	3447	63.3	0	11.65	16
7748	2024-04-07 05:09:13.825	3447	63.3	0	11.65	16
7749	2024-04-07 05:09:13.872	3448	63	0	11.66	16
7750	2024-04-07 05:09:14.746	3448	63	0	11.66	16
7751	2024-04-07 05:09:14.807	3448	63	0	11.34	16
7752	2024-04-07 05:09:15.655	3449	63	0	11.34	16
7753	2024-04-07 05:09:15.727	3449	62.7	0	11.605	13
7754	2024-04-07 05:09:16.588	3450	62.7	0	11.605	13
7755	2024-04-07 05:09:16.636	3450	62.4	0	10.973	13
7756	2024-04-07 05:09:17.499	3451	62.4	0	10.973	13
...						
...						
...						
8086	2024-04-07 05:11:45.794	3599	46.4	0	11.461	15
8087	2024-04-07 05:11:45.840	3599	46.4	0	11.601	15
8088	2024-04-07 05:11:46.709	3600	46.4	0	11.601	15
8089	2024-04-07 05:11:46.765	3600	45.8	0	10.959	15
8090	2024-04-07 05:11:47.626	3601	45.8	0	10.959	15
8091	2024-04-07 05:11:47.683	3601	45.8	0	11.725	15
8092	2024-04-07 05:11:48.543	3602	45.8	0	11.725	15
8093	2024-04-07 05:11:48.611	3602	45.8	0	11.374	15
8094	2024-04-07 05:11:49.497	3603	45.5	0	11.725	15
8095	2024-04-07 05:11:49.554	3603	45.5	0	11.725	15
8096	2024-04-07 05:11:50.397	3604	45.5	0	11.725	15
8097	2024-04-07 05:11:50.441	3604	45.5	0	10.98	15
8098	2024-04-07 05:11:51.316	3605	45.5	0	10.98	15
8099	2024-04-07 05:11:51.358	3605	45.5	0	11.665	15
8100	2024-04-07 05:11:52.234	3606	45.5	0	11.665	15
8101	2024-04-07 05:11:52.303	3606	45.2	0	11.447	16
8102	2024-04-07 05:11:53.151	3607	45.2	0	11.447	16
8103	2024-04-07 05:11:53.219	3607	45.2	0	11.803	16
8104	2024-04-07 05:11:54.083	3608	45.2	0	11.803	16
8105	2024-04-07 05:11:54.121	3608	45.2	0	10.873	16
8106	2024-04-07 05:11:55.000	3609	45.2	0	10.873	16
8107	2024-04-07 05:11:55.064	3609	45.2	0	11.818	16

8108	2024-04-07 05:11:55.923	3610	45.2	0	11.818	16
8109	2024-04-07 05:11:55.985	3610	45.8	0	11.629	16
8110	2024-04-07 05:11:56.837	3610	45.8	0	11.629	16
8111	2024-04-07 05:11:56.906	3611	45.8	0	11.465	16
8112	2024-04-07 05:11:57.767	3611	45.8	0	11.465	16
8113	2024-04-07 05:11:57.820	3611	46.1	0	11.049	15
8114	2024-04-07 05:11:58.684	3612	46.1	0	11.049	15
8115	2024-04-07 05:11:58.737	3612	46.4	0	11.629	15
8116	2024-04-07 05:11:59.638	3613	46.4	0	12.286	15
8117	2024-04-07 05:11:59.684	3613	46.4	0	12.286	15
8118	2024-04-07 05:12:00.526	3614	46.4	0	12.286	15
8119	2024-04-07 05:12:00.580	3614	46.4	0	11.056	15
8120	2024-04-07 05:12:01.450	3615	46.4	0	11.056	15
8121	2024-04-07 05:12:01.511	3615	45.8	0	12.05	13
8122	2024-04-07 05:12:02.372	3616	45.8	0	12.05	13
8123	2024-04-07 05:12:02.402	3616	45.8	0	11.649	12
8124	2024-04-07 05:12:03.292	3617	45.8	0	11.649	12
8125	2024-04-07 05:12:03.329	3617	45.2	0.249	10.142	12
8126	2024-04-07 05:12:04.210	3618	45.2	0.249	10.142	12
8127	2024-04-07 05:12:04.248	3618	44.6	1.391	12.167	12
8128	2024-04-07 05:12:05.133	3619	44.6	1.391	12.167	12
8129	2024-04-07 05:12:05.179	3619	43.8	1.512	10.555	12
8130	2024-04-07 05:12:06.051	3620	43.8	1.512	10.555	12
8131	2024-04-07 05:12:06.116	3620	41.7	1.151	11.691	12
8132	2024-04-07 05:12:06.971	3621	41.7	1.151	11.691	12
8133	2024-04-07 05:12:07.003	3621	39.6	0.984	11.876	12
8134	2024-04-07 05:12:07.896	3622	39.6	0.984	11.876	12
8135	2024-04-07 05:12:07.927	3622	38.7	1.495	11.06	12
8136	2024-04-07 05:12:08.813	3622	38.7	1.495	11.06	12
8137	2024-04-07 05:12:08.863	3623	37.5	1.647	11.293	12
8138	2024-04-07 05:12:09.770	3623	35.8	1.11	11.831	12
8139	2024-04-07 05:12:09.814	3623	35.8	1.11	11.831	12
8140	2024-04-07 05:12:10.660	3624	35.8	1.11	11.831	12
8141	2024-04-07 05:12:10.685	3624	35.8	1.11	11.831	12
8142	2024-04-07 05:12:10.694	3624	33.4	1.02	11.538	12
8143	2024-04-07 05:12:11.577	3625	33.4	1.02	11.538	12
8144	2024-04-07 05:12:11.627	3625	32.2	0.927	11.687	12
8145	2024-04-07 05:12:12.496	3626	32.2	0.927	11.687	12
8146	2024-04-07 05:12:12.531	3626	31	0.914	11.469	12
8147	2024-04-07 05:12:13.413	3627	31	0.914	11.469	12
8148	2024-04-07 05:12:13.482	3627	30.1	0.893	11.577	12
8149	2024-04-07 05:12:14.340	3628	30.1	0.893	11.577	12
8150	2024-04-07 05:12:14.404	3628	29.6	1.553	11.369	12
8151	2024-04-07 05:12:15.263	3629	29.6	1.553	11.369	12
8152	2024-04-07 05:12:15.315	3629	29	1.222	11.561	12
8153	2024-04-07 05:12:16.180	3630	29	1.222	11.561	12

8154	2024-04-07 05:12:16.248	3630	27.5	0.842	11.621	12
8155	2024-04-07 05:12:17.097	3631	27.5	0.842	11.621	12
8156	2024-04-07 05:12:17.126	3631	26.6	0.736	11.422	12
8157	2024-04-07 05:12:18.020	3632	26.6	0.736	11.422	12
8158	2024-04-07 05:12:18.074	3632	26	0.669	11.587	12
8159	2024-04-07 05:12:18.948	3633	26	0.669	11.587	12
8160	2024-04-07 05:12:19.010	3633	25.4	0.015	11.831	12
8161	2024-04-07 05:12:19.898	3634	25.4	0	11.243	12
8162	2024-04-07 05:12:19.956	3634	25.4	0	11.243	12
8163	2024-04-07 05:12:20.789	3634	25.4	0	11.243	12
8164	2024-04-07 05:12:20.854	3634	24.8	0.033	11.206	12
8165	2024-04-07 05:12:21.705	3635	24.8	0.033	11.206	12
8166	2024-04-07 05:12:21.742	3635	24.8	0.033	11.206	12
8167	2024-04-07 05:12:21.745	3635	24.2	0	11.452	12
8168	2024-04-07 05:12:22.632	3636	24.2	0	11.452	12
8169	2024-04-07 05:12:22.682	3636	23.6	0	11.498	12
8170	2024-04-07 05:12:23.550	3637	23.6	0	11.498	12
8171	2024-04-07 05:12:23.603	3637	23.3	0	11.412	12
8172	2024-04-07 05:12:24.474	3638	23.3	0	11.412	12
8173	2024-04-07 05:12:24.537	3638	22.7	0	11.372	12
8174	2024-04-07 05:12:25.396	3639	22.7	0	11.372	12
8175	2024-04-07 05:12:25.441	3639	22.7	0	11.537	13
8176	2024-04-07 05:12:26.309	3640	22.7	0	11.537	13
8177	2024-04-07 05:12:26.378	3640	22.2	0	11.457	15
8178	2024-04-07 05:12:27.226	3641	22.2	0	11.457	15
8179	2024-04-07 05:12:27.282	3641	21.9	0	11.51	17
8180	2024-04-07 05:12:28.153	3642	21.9	0	11.51	17
8181	2024-04-07 05:12:28.204	3642	21.9	0	11.49	18
8182	2024-04-07 05:12:29.071	3643	21.9	0	11.49	18
8183	2024-04-07 05:12:29.128	3643	22.4	0	11.374	18
8184	2024-04-07 05:12:30.020	3644	23.3	0	11.501	18
8185	2024-04-07 05:12:30.088	3644	23.3	0	11.501	18
8186	2024-04-07 05:12:30.921	3645	23.3	0	11.501	18
8187	2024-04-07 05:12:30.971	3645	24.5	0	11.163	18
8188	2024-04-07 05:12:31.831	3645	24.5	0	11.163	18
8189	2024-04-07 05:12:31.899	3646	25.1	0	11.273	18
8190	2024-04-07 05:12:32.764	3646	25.1	0	11.273	18
8191	2024-04-07 05:12:32.832	3646	26.3	0	11.531	18
8192	2024-04-07 05:12:33.681	3647	26.3	0	11.531	18
8193	2024-04-07 05:12:33.750	3647	27.5	0	11.532	17
8194	2024-04-07 05:12:34.604	3648	27.5	0	11.532	17
8195	2024-04-07 05:12:34.653	3648	28.4	0	11.357	12
8196	2024-04-07 05:12:35.523	3649	28.4	0	11.357	12
8197	2024-04-07 05:12:35.555	3649	29.3	0	11.475	12
8198	2024-04-07 05:12:36.442	3650	29.3	0	11.475	12
8199	2024-04-07 05:12:36.477	3650	29.3	0.502	11.18	12

8200	2024-04-07 05:12:37.368	3651	29.3	0.502	11.18	12
8201	2024-04-07 05:12:37.421	3651	28.7	1.659	11.482	12
8202	2024-04-07 05:12:38.285	3652	28.7	1.659	11.482	12
8203	2024-04-07 05:12:38.338	3652	28.1	1.107	11.458	12
8204	2024-04-07 05:12:39.205	3653	28.1	1.107	11.458	12
8205	2024-04-07 05:12:39.235	3653	28.1	1.107	11.458	12
8206	2024-04-07 05:12:40.162	3654	26	1.488	11.466	12
8207	2024-04-07 05:12:41.052	3655	26	1.488	11.466	12
8208	2024-04-07 05:12:41.096	3655	24.2	1.634	11.55	12
8209	2024-04-07 05:12:41.961	3656	24.2	1.634	11.55	12
8210	2024-04-07 05:12:42.021	3656	22.4	1.129	11.183	12
8211	2024-04-07 05:12:42.894	3657	22.4	1.129	11.183	12
8212	2024-04-07 05:12:42.939	3657	21	1.585	11.033	12
8213	2024-04-07 05:12:43.812	3657	21	1.585	11.033	12
8214	2024-04-07 05:12:43.848	3657	20.1	1.519	11.733	12
8215	2024-04-07 05:12:44.725	3658	20.1	1.519	11.733	12
8216	2024-04-07 05:12:44.782	3658	18.6	1.607	11.503	12
8217	2024-04-07 05:12:45.644	3659	18.6	1.607	11.503	12
8218	2024-04-07 05:12:45.688	3659	16.5	1.219	11.34	12
8219	2024-04-07 05:12:46.576	3660	16.5	1.219	11.34	12
8220	2024-04-07 05:12:46.623	3660	14.2	1.438	11.368	12
8221	2024-04-07 05:12:47.487	3661	14.2	1.438	11.368	12
8222	2024-04-07 05:12:47.546	3661	11.8	2.035	11.512	12
8223	2024-04-07 05:12:48.410	3662	11.8	2.035	11.512	12
8224	2024-04-07 05:12:48.465	3662	8.8	1.444	11.452	12
8225	2024-04-07 05:12:49.364	3663	7.1	1.795	11.452	12
8226	2024-04-07 05:12:49.415	3663	7.1	1.795	11.452	12
8227	2024-04-07 05:12:50.250	3664	7.1	1.795	11.452	12
8228	2024-04-07 05:12:50.325	3664	3.5	2.691	11.372	12
8229	2024-04-07 05:12:51.180	3665	3.5	2.691	11.372	12
8230	2024-04-07 05:12:51.238	3665	0	1.775	11.406	12
8231	2024-04-07 05:12:52.090	3666	0	1.775	11.406	12
8232	2024-04-07 05:12:52.144	3666	0	0.194	11.41	12
8233	2024-04-07 05:12:53.024	3667	0	0.194	11.41	12
8234	2024-04-07 05:12:53.062	3667	0	0	11.404	12
8235	2024-04-07 05:12:53.945	3668	0	0	11.404	12
8236	2024-04-07 05:12:53.996	3668	0	0	11.412	12
8237	2024-04-07 05:12:54.866	3669	0	0	11.412	12
8238	2024-04-07 05:12:54.926	3669	0	0	11.409	12
8239	2024-04-07 05:12:55.779	3669	0	0	11.409	12
8240	2024-04-07 05:12:55.826	3669	0	0	11.414	12
8241	2024-04-07 05:12:56.704	3670	0	0	11.414	12
8242	2024-04-07 05:12:56.754	3670	0	0	11.411	12
8243	2024-04-07 05:12:57.628	3671	0	0	11.411	12
8244	2024-04-07 05:12:57.643	3671	0	0	11.411	12
8245	2024-04-07 05:12:57.664	3671	0	0	11.405	12

8246	2024-04-07 05:12:58.548	3672	0	0	11.405	12
8247	2024-04-07 05:12:59.489	3673	0	0	11.416	12
8248	2024-04-07 05:13:00.376	3674	0	0	11.416	12
8249	2024-04-07 05:13:00.447	3674	0	0	11.411	12
8250	2024-04-07 05:13:01.312	3675	0	0	11.411	12
8251	2024-04-07 05:13:01.369	3675	0	0	11.409	12
8252	2024-04-07 05:13:02.219	3676	0	0	11.409	12
8253	2024-04-07 05:13:02.263	3676	0	0	11.409	12
8254	2024-04-07 05:13:02.274	3676	0	0	11.411	12
8255	2024-04-07 05:13:03.153	3677	0	0	11.411	12
8256	2024-04-07 05:13:03.198	3677	0	0	11.407	12
8257	2024-04-07 05:13:04.065	3678	0	0	11.407	12
8258	2024-04-07 05:13:04.140	3678	0	0	11.408	12
8259	2024-04-07 05:13:04.997	3679	0	0	11.408	12
8260	2024-04-07 05:13:05.028	3679	0	0	11.403	12
8261	2024-04-07 05:13:05.917	3680	0	0	11.403	12
8262	2024-04-07 05:13:05.967	3680	0	0	11.408	12
8263	2024-04-07 05:13:06.828	3680	0	0	11.408	12
8264	2024-04-07 05:13:06.885	3681	0	0	11.407	12

PHỤ LỤC 3 HÌNH ẢNH THÍ NGHIỆM



PHỤ LỤC 4
GIẤY CHỨNG NHẬN KẾT QUẢ ĐO, THỬ NGHIỆM

	<p>VIỆN ĐO LƯỜNG VIỆT NAM (ĐK 05) (Vietnam Metrology Institute)</p> <p>Địa chỉ (Add.): Số 8 Đường Hoàng Quốc Việt, Phường Nghĩa Đô, Quận Cầu Giấy, Thành phố Hà Nội Điện thoại (Tel.): (84-024) 37914876 ; Fax: (84-024) 37564260</p>
<p>GIẤY CHỨNG NHẬN KẾT QUẢ ĐO, THỬ NGHIỆM (Measurement & Testing Certificate)</p>	
<p>Số (№): V02.CN6.0001.25</p>	
<p>Tên đối tượng (Object): Thử nghiệm Thiết bị đo tiêu thụ nhiên liệu và các thông số ảnh hưởng Kistler (Cân điện tử)</p>	
Kiểu (Type): CM-30	Số (Serial №)/Mã QL (Tag №): 0000203055
Cơ sở sản xuất (Manufacturer):	GRAM
Đặc trưng kỹ thuật đo lường (Specification):	Max = 30 kg d = 0,001 kg
Cơ sở sử dụng (Customer):	Trường đại học Công nghiệp Hà Nội Số 298 Cầu Diễn, Bắc Từ Liêm, Hà Nội
Phương pháp thực hiện (Method of calibration):	V02.M-07.24
Chuẩn được sử dụng (Standards used):	V02.TB1.22 - Bộ (1 kg ÷ 10 kg) F1 Chuẩn được liên kết đến hệ đơn vị quốc tế SI (Standards are traceable to the international system of units SI)
Kết quả (Results):	Xem kết quả trang sau (See the results on the next page)
<p>Hà Nội, ngày 09 tháng 01 năm 2025 (Date of issue)</p>	
<p>Trưởng phòng thí nghiệm (Head of Laboratory)</p> <p style="font-size: 2em; color: blue;">Ung</p> <p>Đỗ Đức Nguyên</p>	<p>VIỆN TRƯỞNG (Director)</p>  <p>PHÓ VIỆN TRƯỞNG <i>Nguyễn Anh Sơn</i></p>
<p>Trang: 1/3 (No of pages)</p>	<p>Không được sao chép rời khi giấy chứng nhận có nhiều trang nếu không được sự đồng ý bằng văn bản của Viện Đo lường Việt Nam (This certificate shall not be reproduced except in full, without written approval of VMI)</p>
<p>Ngày BH: 01-07-17</p>	<p>F-02a/P5.10</p>

KẾT QUẢ ĐO, THỬ NGHIỆM

(Measurement & Testing results)

Kèm theo giấy chứng nhận số (attached to certificate No): V02.CN6.0001.25

• Điều kiện môi trường (Environmental Conditions):

	Nhiệt độ (Temperature), °C	Độ ẩm (Humidity), %RH
Bắt đầu (Start)	20,4	43,0
Kết thúc (End)	20,4	45,0

1. Kiểm tra độ lệch tâm (Eccentricity test)

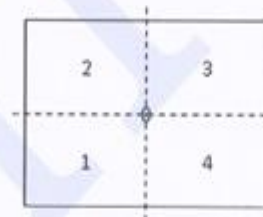
Tải kiểm tra (Load):

10,000 kg

Độ lệch tâm (Eccentricity):

0,002 kg

Vị trí (Position)	Giá trị chỉ thị (Indication)
0	10,001
1	10,003
2	10,002
3	10,001
4	10,002



2. Kiểm tra độ lặp lại (Repeatability test)

Tải kiểm tra (Load):

30,000 kg

Độ lệch chuẩn (Standard deviation):

0,00055 kg

Lần đo (No)	Giá trị chỉ thị (Indication)
1	29,998
2	29,999
3	29,998
4	29,999
5	29,999
6	29,998

Trang: 2/3
(No of pages)

Không được sao chép rời khi giấy chứng nhận có nhiều trang nếu không được sự đồng ý bằng văn bản của Viện Đo lường Việt Nam
(This certificate shall not be reproduced except in full, without written approval of VMI)

Ngày BH: 15-01-21

F-05/P7.8

Viện Đo lường Việt Nam
 N ION
 NA
 10 Q

KẾT QUẢ ĐO, THỬ NGHIỆM

(Measurement & Testing results)

Kèm theo giấy chứng nhận số (attached to certificate №): V02.CN6.0001.25

3. Kiểm tra độ đúng (Accuracy test)

STT (№)	Mức cân (Load) kg	Giá trị chỉ thị (Indication)		Số hiệu chỉnh (Correction) g	ĐKĐBĐ U (Uncertainty) g
		Chỉ thị trên cân kg	Chỉ thị trên máy tính (*) kg		
1	1	1,000	1,000	0,0	1,4
2	2	2,000	2,000	0,0	1,5
3	5	5,001	5,001	-1,0	1,8
4	10	10,001	10,001	-1,0	2,7
5	20	20,000	20,000	0,0	4,9
6	30	29,998	29,998	2,0	7,1

(*) Máy tính hiệu Lenovo do khách hàng cung cấp.

- Các giá trị độ không đảm bảo đo mở rộng U ở trên được xác định với mức tin cậy P = 95,45% (k=2) (Expanded measurement uncertainty U with coverage factor k=2; confidence level of P=95,45%)

1. Phương tiện đo này không được sử dụng để định lượng hàng hóa, dịch vụ trong mua bán, thanh toán, bảo đảm an toàn, bảo vệ sức khỏe cộng đồng, bảo vệ môi trường, trong thanh tra, kiểm tra, giám định tư pháp và trong các hoạt động công vụ khác.
2. Phương tiện đo này không được sử dụng trực tiếp để kiểm định phương tiện đo nhóm 2.

Ngày 09 tháng 01 năm 2025

Người thực hiện

(Calibrated by)



Bùi Hoàng Minh

- Địa điểm thực hiện: VMI

Trang: 3/3
(№ of pages)

Không được sao chép rời khi giấy chứng nhận có nhiều trang nếu không được sự đồng ý bằng văn bản của Viện Đo lường Việt Nam
(This certificate shall not be reproduced except in full, without written approval of VMI)


VIỆN ĐO LƯỜNG VIỆT NAM (ĐK 05)
(Vietnam Metrology Institute)

Địa chỉ (Add.): Số 8 Đường Hoàng Quốc Việt, Phường Nghĩa Đô,
Quận Cầu Giấy, Thành phố Hà Nội
Điện thoại (Tel.): (84-024) 37914876; Fax: (84-024) 37564260

GIẤY CHỨNG NHẬN HIỆU CHUẨN
(Calibration Certificate)
Số (Số): V09.CN5.027.25
Tên đối tượng (Object): Thiết bị đo tiêu thụ nhiên liệu và các thông số ảnh hưởng (chỉ tiêu TĐVQ, rung)
Kiểu (Type): Kisster Số (Serial No)/Mã QL (Tag No): N/A
Nơi sản xuất (Manufacturer): Việt Nam
Đặc trưng kỹ thuật đo lường (Specification):

 Độ chính xác đo vận tốc xe (km/h): $\pm 1\%$

 Độ chính xác đo tốc độ động cơ (r/min): $\pm 1\%$

 Độ chính xác đo tần số dao động rung (Hz): $\pm 0,6\%$

 Nguồn cấp DC bướm ga: $\leq 0,61V$ (đóng hoàn toàn: 0%)
 $\geq 3,78 V$ (mở hoàn toàn: 100%)

Cơ sở sử dụng (Customer) Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội
Phương pháp thực hiện (Method of calibration):

ĐLVN 165:2005 (V09.G21/P5.4) - QTHC - Máy đo tốc độ vòng quay;

VMI-CP 102:2019 - QTHC - Phương tiện đo rung

Chuẩn được sử dụng (Standards used) Máy đếm xung chuẩn HP53131A (V09.TB1.40);

Máy tổ hợp tần số HP3325B (V09.TB.10); Máy hiện sóng Fluke 199C (V09.TB1.24)

Hệ thống hiệu chuẩn rung động bằng phương pháp số sánh 3629

Chuẩn được liên kết đến hệ đơn vị quốc tế SI

(Standards are traceable to the international system of units SI)
Kết quả (Results): Xem kết quả ở trang sau (See the results on the next page)
Ngày hiệu chuẩn đề nghị (Recalibration recommended): Không áp dụng

Hà Nội, ngày 10 tháng 02 năm 2025

(Date of issue)
K.T. Trưởng phòng thí nghiệm
(Head of calibration Laboratory)


Nguyễn Thị Hằng

VILAS 072

VIỆN TRƯỞNG
(Director)

PHÓ VIỆN TRƯỞNG
 Nguyễn Anh Sơn

1. Phương tiện đo này không được sử dụng để định lượng hàng hóa, dịch vụ trong mua bán, thanh toán, bảo đảm an toàn, bảo vệ sức khỏe cộng đồng, bảo vệ môi trường, trong thanh tra, kiểm tra, giám định tư pháp và trong các hoạt động công vụ khác.
2. Phương tiện đo này không được sử dụng trực tiếp để kiểm định phương tiện đo nhóm 2.

Trang:
(No. of pages)
Không được sao chép rời khi giấy chứng nhận có nhiều trang nếu không được sự đồng ý bằng văn bản của Viện Đo lường Việt Nam
(This certificate shall not be reproduced except in full, without written approval of VMI)

Ngày BH (Issued date): 01-12-22

F-073

KẾT QUẢ HIỆU CHUẨN

(Calibration results)
Kèm theo giấy chứng nhận số (Attached to certificate №): V09.CN5.027.25

Điều kiện môi trường (Environment):

- Nhiệt độ (Temperature): 20,41 °C

- Độ ẩm (Humidity): 55,1 %RH

1. Chức năng đo vận tốc xe (km/h)

STT	Giá trị chuẩn (km/h)	Giá trị Kistter đo được (km/h)	Sai số (%)	ĐKĐBBĐ (km/h) (k=2, 95%CL)
1	20	19,8	-1,0	0,06
2	30	30,1	0,3	0,06
3	40	39,6	-1,0	0,06
4	50	49,9	-0,2	0,06
5	60	60,3	0,5	0,06
6	70	69,7	-0,4	0,06
7	80	80,1	0,1	0,06

2. Chức năng đo tốc độ động cơ

STT	Giá trị chuẩn (r/min)	Giá trị Kistter đo được (r/min)	Sai số (%)	ĐKĐBBĐ (r/min) (k=2, 95%CL)
1	500	497	-0,6	0,6
2	1000	995	-0,5	0,6
3	2000	1994	-0,3	0,6
4	3000	2989	-0,4	0,6
5	4000	3988	-0,3	0,6
6	5000	4987	-0,3	0,6
7	6000	5982	-0,3	0,6
8	7000	6977	-0,3	0,6

3. Chức năng đo tần số dao động rung

Giá trị chuẩn (Hz)	Giá trị TB Kistter đo (Hz)			Sai số (%)			U (k=2, 95%CL)
	X	Y	Z	X	Y	Z	X, Y, Z (Hz)
5	5,0	5,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,6
10	10,0	10,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,6
20	20,0	20,0	20,0	0,0	0,0	0,0	0,6
50	50,0	50,0	50,0	0,0	0,0	0,0	0,6
100	99,4	99,4	99,4	-0,6	-0,6	-0,6	0,8
200	199,8	199,8	199,8	-0,1	-0,1	-0,1	0,8
300	299,6	299,6	299,6	-0,1	-0,1	-0,1	0,8
400	399,0	399,0	399,0	-0,3	-0,3	-0,3	0,6
500	499,0	499,0	499,0	-0,2	-0,2	-0,2	0,6

4. Chức năng bướm ga

Bướm ga (%)	Điện áp đặt (VDC)
Đóng hoàn toàn: 0%	0,5
Mở hoàn toàn: 100%	3,8

Người thực hiện

Nguyễn Trần Tuấn

Trang: 2/2
(No of pages)

Không được sao chép rời khi giấy chứng nhận cơ nhiều trang nếu không được sự đồng ý bằng văn bản của Viện Đo lường Việt Nam
(This certificate shall not be reproduced except in full, without written approval of VMI)

Ngày BH (Issued date): 20-05-22

F-081