

BỘ GIAO THÔNG VẬN TẢI BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC HÀNG HẢI VIỆT NAM



NCS. NGUYỄN ĐỨC HẠNH

**NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA HỖN HỢP
NHIÊN LIỆU DẦU THỰC VẬT - DIESEL ĐẾN
PHUN NHIÊN LIỆU, TẠO HỖN HỢP, CHÁY VÀ
TÍNH NĂNG CỦA ĐỘNG CƠ DIESEL TÀU THỦY**

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

HẢI PHÒNG – NĂM 2020

**BỘ GIAO THÔNG VẬN TẢI BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC HÀNG HẢI VIỆT NAM**

NCS. NGUYỄN ĐỨC HẠNH

**NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA HỖN HỢP
NHIÊN LIỆU DẦU THỰC VẬT - DIESEL ĐẾN
PHUN NHIÊN LIỆU, TẠO HỖN HỢP, CHÁY VÀ
TÍNH NĂNG CỦA ĐỘNG CƠ DIESEL TÀU THỦY**

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

**NGÀNH: KỸ THUẬT CƠ KHÍ ĐỘNG LỰC; MÃ SỐ: 95.20.116
CHUYÊN NGÀNH: KHAI THÁC VÀ BẢO TRÌ TÀU THỦY**

**Người hướng dẫn khoa học: 1. PGS, TSKH. Đặng Văn Uy
2. PGS. TS. Nguyễn Đại An**

HẢI PHÒNG – NĂM 2020

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan Luận án này là công trình nghiên cứu của riêng tôi. Các số liệu, kết quả nêu trong luận án là trung thực và chưa được ai công bố trong bất kỳ công trình nào khác. Việc tham khảo các nguồn tài liệu đã được trích dẫn và ghi đúng quy định.

Tác giả luận án

Nguyễn Đức Hạnh

LỜI CẢM ƠN

Trước hết, tôi xin gửi lời cảm ơn chân thành tới Ban Giám hiệu, Viện Đào tạo sau Đại học, Khoa Máy tàu biển – Trường Đại học Hàng hải Việt Nam đã tạo mọi điều kiện thuận lợi và giúp đỡ tôi trong suốt quá trình làm luận án.

Tôi xin bày tỏ lòng biết ơn chân thành tới tập thể người hướng dẫn khoa học là: PGS. TSKH. Đặng Văn Uy và PGS. TS. Nguyễn Đại An về những hướng dẫn khoa học nghiêm túc và đã đồng ý cho phép sử dụng một phần kết quả của Đề tài NCKH & PTCN cấp Quốc gia “Nghiên cứu sử dụng nhiên liệu diesel sinh học hỗn hợp giữa dầu thực vật và dầu diesel cho động cơ diesel tàu thủy”, mã số ĐT.04.11/NLSH - Thuộc Đề án phát triển NLSH đến năm 2015, tầm nhìn đến năm 2025 của Bộ Công thương để nghiên cứu sinh hoàn thành luận án.

Tôi xin chân thành cảm ơn Trung tâm thí nghiệm hệ động lực - Trường Đại học Hàng hải Việt Nam đã tạo điều kiện thuận lợi để nghiên cứu sinh tiến hành nghiên cứu thực nghiệm và hoàn thành phần thực nghiệm của luận án.

Tôi xin bày tỏ lòng biết ơn đến các thầy, các nhà khoa học thuộc các Trường trong Câu lạc bộ Cơ khí động lực đã đóng góp nhiều ý kiến quý báu cho nghiên cứu sinh trong quá trình thực hiện và hoàn thành luận án.

Tôi xin bày tỏ lòng biết ơn đến tất cả bạn bè, đồng nghiệp và những người thân trong gia đình đã động viên và giúp đỡ tôi rất nhiều trong quá trình thực hiện luận án.

Nghiên cứu sinh

Nguyễn Đức Hạnh

MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN	i
LỜI CẢM ƠN.....	ii
MỞ ĐẦU	1
LÝ DO THỰC HIỆN ĐỀ TÀI.....	1
MỤC ĐÍCH NGHIÊN CỨU.....	4
ĐỐI TƯỢNG VÀ PHẠM VI NGHIÊN CỨU	4
PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU	5
Ý NGHĨA KHOA HỌC VÀ THỰC TIỄN.....	5
CÁC ĐIỂM ĐÓNG GÓP MỚI	6
KẾT CẤU CỦA LUẬN ÁN.....	6
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN.....	7
1.1. Hệ thống nhiên liệu động cơ diesel tàu thủy	8
1.1.1. Phân loại hệ thống nhiên liệu động cơ diesel tàu thủy	8
1.1.1.1. Hệ thống nhiên liệu nhẹ (DO)	8
1.1.1.2. Hệ thống nhiên liệu nặng (HFO hoặc FO).....	9
1.1.2. Hệ thống phun nhiên liệu động cơ diesel tàu thủy	10
1.1.2.1. Yêu cầu đối với hệ thống phun nhiên liệu cho động cơ diesel tàu thủy ..	10
1.1.2.2. Vòi phun	11
1.2. Xu thế ứng dụng giải pháp nhằm cải thiện chỉ tiêu kinh tế và môi trường của động cơ diesel tàu thủy hiện nay.....	13
1.3. Những qui định pháp lý Quốc tế về phát thải khí NO _x đối với động cơ diesel tàu thủy	15
1.4. Nhiên liệu sinh học và xu hướng ứng dụng cho động cơ diesel tàu thủy.....	16
1.4.1. Nhiên liệu sinh học dùng cho động cơ diesel.....	16
1.4.2. Nhiên liệu sinh học dùng nghiên cứu trong luận án	17
1.4.3. Ưu, nhược điểm của nhiên liệu hỗn hợp dầu cọ - dầu diesel khi dùng cho động cơ diesel tàu thủy so với hỗn hợp biodiesel - diesel.....	18
1.4.4. Những qui định tại Việt Nam về phát triển NLSH.....	21
1.5. Tổng quan về các công trình khoa học trong và ngoài nước liên quan luận án ..	22
1.5.1. Các nghiên cứu trên thế giới	22
1.5.2. Các nghiên cứu tại Việt Nam	24

1.6. Những thông số cơ bản ảnh hưởng đến chất lượng quá trình phun tạo hỗn hợp-cháy của hỗn hợp dầu thực vật – dầu diesel trong động cơ diesel tàu thủy	27
---	----

CHƯƠNG 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT ĐÁNH GIÁ QUÁ TRÌNH PHUN NHIÊN LIỆU ĐỐI VỚI ĐỘNG CƠ DIESEL TÀU THỦY VÀ GIẢI PHÁP HIỆU CHỈNH NHẪM ĐẠT CHỈ TIÊU MÔI TRƯỜNG, KINH TẾ.....31

2.1. Các đặc tính phun nhiên liệu	32
2.1.1. Đặc tính vĩ mô	33
2.1.1.1. Chiều dài tia phun	33
2.1.1.2. Góc nón tia phun	35
2.1.1.3. Chiều dài phân rã sơ cấp	36
2.1.2. Đặc tính vi mô.....	38
2.2. Ảnh hưởng của đặc tính nhiên liệu đến quá trình phun.....	41
2.2.1. Ảnh hưởng của đặc tính nhiên liệu đến thời điểm phun.....	41
2.2.2. Ảnh hưởng của đặc tính nhiên liệu đến thời gian cháy trễ.....	44
2.2.3. Ảnh hưởng của đặc tính nhiên liệu đến áp suất phun.....	45
2.2.4. Ảnh hưởng của đặc tính nhiên liệu đến lưu lượng phun	47
2.3. Ảnh hưởng của đặc tính nhiên liệu đến phát thải NO_x	48
2.4. Lựa chọn mô hình toán xác định ảnh hưởng của đặc tính nhiên liệu đến chất lượng phun	49
2.5. Cơ sở lý thuyết CFD mô phỏng, đánh giá quá trình phun, tạo hỗn hợp và cháy trong động cơ diesel tàu thủy.....	50
2.6. Cơ sở lý thuyết để hiệu chỉnh HTPNL khi sử dụng hỗn hợp nhiên liệu dầu thực vật - diesel nhằm đạt chỉ tiêu kinh tế và môi trường.....	55
2.7. Kết luận chương 2.....	61

CHƯƠNG 3. NGHIÊN CỨU LÝ THUYẾT ẢNH HƯỞNG CỦA HỖN HỢP NHIÊN LIỆU DẦU THỰC VẬT - DIESEL ĐẾN HỆ THỐNG PHUN NHIÊN LIỆU ĐỘNG CƠ DIESEL TÀU THỦY.....62

3.1. Đánh giá ảnh hưởng của nhiên liệu hỗn hợp đến đặc tính tia phun nhiên liệu ..	63
3.1.1. Các thông số kỹ thuật cần thiết để tính toán	63
3.1.2. Kết quả tính toán về đặc tính tia phun.....	66
3.1.2.1. Kết quả tính toán về đặc tính vĩ mô của tia phun.....	66
3.1.2.2. Kết quả tính toán về đặc tính vi mô của tia phun	67
3.1.2.3. So sánh, đánh giá đặc tính tia phun của các loại nhiên liệu.....	68

3.1.3. Các kết quả tính toán về ảnh hưởng của nhiên liệu hỗn hợp đến thời điểm phun và thời gian cháy trễ.....	70
3.1.3.1. Các thông số đầu vào và điều kiện ban đầu	70
3.1.3.2. Các kết quả thu được trong quá trình tính toán	71
3.1.4. Kết quả tính toán về ảnh hưởng của nhiên liệu hỗn hợp đến lưu lượng phun	72
3.1.5. Một số nhận xét	73
3.2. Mô phỏng quá trình phun nhiên liệu vào động cơ diesel tàu thủy	74
3.2.1. Tính toán mô phỏng bằng phần mềm Ansys Fluent.....	74
3.2.1.1. Đặt điều kiện biên	74
3.2.1.2. Xây dựng mô hình nghiên cứu và chia lưới không gian tính toán	75
3.2.2. Kết quả tính toán mô phỏng	77
3.2.2.1. Trường phân bố áp suất trong quá trình phun nhiên liệu.....	77
3.2.2.2. Trường phân bố vận tốc biểu diễn theo đường đồng mức	79
3.2.2.3. Trường phân bố vận tốc theo đường dòng của chùm 10 lỗ phun.....	80
3.2.2.4. Trường phân bố vận tốc biểu diễn theo đường dòng của 1 lỗ phun.....	81
3.2.2.5. Trường phân bố vận tốc biểu diễn theo véc tơ	82
3.2.2.6. Trường phân bố năng lượng động năng rời.....	84
3.3. Mô phỏng quá trình hòa trộn-cháy của nhiên liệu hỗn hợp trong động cơ diesel tàu thủy	86
3.3.1. Phương án tính toán mô phỏng.....	87
3.3.2. Xây dựng mô hình mô phỏng quá trình hòa trộn-cháy.....	88
3.3.2.1. Lựa chọn khu vực tính toán.....	88
3.3.2.2. Lựa chọn mô hình tính toán.....	88
3.3.2.3. Xây dựng mô hình nghiên cứu và chia lưới không gian tính toán	89
3.3.3. Kết quả tính toán cho loại nhiên liệu PO20	90
3.3.3.1. Phân bố áp suất trong quá trình hòa trộn - cháy	90
3.3.3.2. Phân bố nhiệt độ trong quá trình hòa trộn - cháy	93
3.3.3.3. Phân bố vận tốc cháy trong quá trình hòa trộn - cháy	96
3.4. Đánh giá độ tin cậy kết quả tính toán mô phỏng	101
3.5. Kết luận chương 3.....	103
CHƯƠNG 4. NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM	104
4.1. Mục đích, chế độ, điều kiện và đối tượng thực nghiệm	104

4.1.1. Mục đích.....	104
4.1.2. Chế độ tải động cơ và điều kiện thực nghiệm.....	104
4.1.3. Đối tượng thực nghiệm	105
4.2. Trang thiết bị phục vụ nghiên cứu thực nghiệm	105
4.2.1. Đề xuất mô hình thực nghiệm	105
4.2.2. Đặc điểm kỹ thuật của động cơ diesel chính tàu thủy 6LU32	106
4.2.3. Đặc điểm kỹ thuật của các thiết bị đo.....	107
4.2.4. Nhiên liệu thí nghiệm.....	109
4.2.5. Quy trình đo và xử lý số liệu thực nghiệm.....	109
4.3. Kết quả nghiên cứu thực nghiệm.....	110
4.3.1. Áp suất cháy trong xy lanh động cơ	110
4.3.2. Thời điểm bắt đầu phun và áp suất phun lớn nhất.....	111
4.3.3. Thời gian cháy trễ của nhiên liệu	113
4.3.4. Suất tiêu hao nhiên liệu.....	115
4.3.5. Đánh giá sự thay đổi của lưu lượng phun	116
4.3.6. Chất lượng phun sương, tạo hỗn hợp và cháy.....	117
4.3.7. Phát thải NO _x	123
4.4. Kết quả giải pháp hiệu chỉnh bằng phương pháp quy hoạch thực nghiệm..	124
4.4.1. Các bước thực hiện hiệu chỉnh trong phòng thí nghiệm.....	124
4.4.2. Kết quả hiệu chỉnh đối với hệ thống nhiên liệu	125
4.5. Kết luận chương 4.....	129
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ:.....	130
Kết luận:.....	130
Kiến nghị:.....	131
DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ CỦA TÁC GIẢ LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN.....	132
TÀI LIỆU THAM KHẢO	
CÁC PHỤ LỤC	

DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT VÀ TIẾNG ANH

Chữ viết tắt	Diễn giải
Ansys Fluent	Phần mềm mô phỏng động lực học dòng chảy
ASTM	Tiêu chuẩn về Vật liệu và Thử nghiệm
ASP	Áp suất phun
BCA	Bơm cao áp
Biodiesel	Nhiên liệu diesel sinh học
Biofuels	Nhiên liệu sinh học
CDI	Common rail diesel injection (Hệ thống phun nhiên liệu điện tử)
CFD	Computational Fluid Dynamics (Tính toán động lực học lưu chất)
CO	Ô xít các bon
Common rail	Hệ thống phun nhiên liệu điện tử dùng ECU
CTCT	Chu trình công tác
ĐCD (BOT)	Điểm chết dưới (Bottom)
ĐCĐT	Động cơ đốt trong
ĐCT (TOP)	Điểm chết trên (Top)
DME	Dimetyl Ete
DO	Diesel oil – dầu nhẹ
DTV	Dầu thực vật
DWT	Deadweight – Trọng tải tàu (tấn)
EGR	Exhaust Gas Recirculation (Tuần hoàn khí thải)
EOC	Kết thúc quá trình cháy
FAME	Fatty Acid Methyl Esters (Este metyl a xít béo)
FUEL	Nhiên liệu
GQTK	Góc quay trục khuỷu
Grid; Gambit	Phần mềm chia lưới
GT	Gross tonnage – Tổng dung tích tàu
GTVT	Giao thông vận tải
GPS (SOI)	Góc phun sớm
HAGL	Hoàng Anh Gia Lai

HC	Hydrocacbon
HFO (FO)	Heavy Fuel Oil - dầu nặng
HTNL	Hệ thống nhiên liệu
HTPNL	Hệ thống phun nhiên liệu
IMO	International Maritime Organization (Tổ chức Hàng hải quốc tế)
KH&CN	Khoa học và công nghệ
NCKH	Nghiên cứu khoa học
NCS	Nghiên cứu sinh
NLSH	Nhiên liệu sinh học
NO _x	Các Ô xít Ni tơ
PO	Palm oil - Diesel oil (Hỗn hợp dầu cọ - dầu diesel)
PPO	Pure Plant Oil (Dầu thực vật nguyên gốc)
PTN	Phòng thí nghiệm
QCVN	Quy chuẩn Việt Nam
QLCCNL	Quy luật cung cấp nhiên liệu
QTCN	Quy trình công nghệ
SOC	Bắt đầu cháy hỗn hợp
SVO	Straight vegetable oil (Dầu thực vật dùng trực tiếp)
TCVN	Tiêu chuẩn Việt Nam
Tecplot	Phần mềm để vẽ biểu đồ dữ liệu
TSKT	Tiến sĩ kỹ thuật
VP	Vòi phun

DANH MỤC CÁC KÍ HIỆU

TT	Kí hiệu	Ý nghĩa	Độ lớn/thứ nguyên
1.	$\bar{S}_p$	Vận tốc trung bình của piston động cơ	m/s
2.	T_n	Nhiệt độ không khí nạp	K
3.	γ	Tỉ số của nhiệt trị riêng theo áp suất với nhiệt trị riêng theo thể tích	
4.	$\frac{dh_a}{d\varphi}$	Tốc độ dịch chuyển piston bơm cao áp theo GQTK	m/s
5.	$\frac{d\varphi}{d\tau}$	Tốc độ góc quay trục cam	rad/s
6.	$\Delta\theta$	Giai đoạn vòi phun mở tính bằng góc quay trục khuỷu	GQTK
7.	$\sum_{i=1}^{i=n}$	Tổng thể tích của n tia phun	m ³
8.	φ_{cn}	Hệ số chảy nhiên liệu	
9.	τ_i	Thời gian cháy trễ	ms
10.	μ	Độ nhớt động học	Ns/m ²
11.	μ_k	Độ nhớt động lực học của không khí	Ns/m ²
12.	μ_l	Độ nhớt động học của nhiên liệu lỏng	Ns/m ²
13.	A, n	Các hệ số phụ thuộc vào loại nhiên liệu	
14.	A_p	Diện tích bề mặt tiết diện piston bơm cao áp	m ²
15.	B, b	Hằng số thực nghiệm	
16.	C	Hằng số thực nghiệm	
17.	C_μ	Hằng số ảnh hưởng của động năng nhiễu loạn và năng lượng tiêu hao trung bình	0,9
18.	C_D	Hệ số phun nhiên liệu	
19.	C_ε	Hằng số năng lượng	1,92
20.	d_o	Đường kính lỗ phun	mm
21.	D_o	Đường kính khoang hình trụ chứa đầu vòi phun	mm
22.	$dp/d\rho$	Đạo hàm của áp suất theo khối lượng riêng	
23.	E_A	Năng lượng kích hoạt cần thiết để tự cháy	kJ/mol

		của nhiên liệu	
24.	F_i	Diện tích của lỗ phun	mm^2
25.	g_{ct}	Lượng nhiên liệu cấp cho một chu trình	g/ct
26.	g_e	Suất tiêu hao nhiên liệu có ích	g/kW.h
27.	GPS	Góc phun sớm	$^\circ\text{GQTK}$
28.	i	Số lỗ phun của vòi phun	cái
29.	K	Hệ số mô-đun đàn hồi	
30.	k	Hệ số nén đa biến	
31.	k_s	Hệ số cứng của vật chất	N.m/rad
32.	L_b	Chiều dài phân rã sơ cấp	mm
33.	l_o	Chiều dài lỗ phun	mm
34.	n	Vòng quay của động cơ	v/p
35.	N_e	Công suất động cơ diesel	kW
36.	NO_x $cycle$	Hàm lượng NO_x trung bình của chu trình sinh ra do nhiệt độ cháy	ppm
37.	p	Áp suất cuối quá trình nén	Pa
38.	p_0	Áp suất ban đầu của nhiên liệu trước khi cấp vào bơm cao áp	Pa
39.	p_c	Áp suất môi chất trong xy lanh tại thời điểm phun	Pa
40.	p_g	Áp suất khí công tác trong buồng đốt	Pa
41.	p_{gt}	Áp suất môi trường	Pa
42.	p_i	Áp suất phun	Pa
43.	p_{inj}	Áp suất nâng kim phun	Pa
44.	p_n	Áp suất không khí nạp	Pa
45.	$p_{ph.lt}$	Áp suất phun nhiên liệu lý thuyết	Pa
46.	p_v	Áp suất hơi	Pa
47.	Q_b	Lưu lượng của BCA	m^3/s
48.	$Q_{vp.}$	Lưu lượng của vòi phun	m^3/s
49.	R	Hằng số khí lý tưởng	J/mol.K
50.	Re_l	Hệ số Reynold $Re_l = \frac{ud}{\nu} = \frac{ud\rho}{\mu}$	

51.	r_o	Bán kính đường cong cửa vào lỗ phun	mm
52.	S	Chiều dài tia phun	mm
53.	SMD	Đường kính trung bình Sauter	μm
54.	t	Thời gian kể từ khi nhiên liệu bắt đầu ra khỏi lỗ phun đến khi những hạt nhiên liệu tách ra tạo thành tia phun	ms
55.	T	Nhiệt độ cuối quá trình nén	K
56.	t_{dur}	Thời gian cháy	s
57.	t_{inj}	Thời gian phun	s
58.	U_o	Vận tốc trung bình của nhiên liệu ở giai đoạn bắt đầu phun	m/s
59.	V_f	Thể tích của lượng nhiên liệu chịu nén	m^3
60.	V_g	Vận tốc của chất khí công tác	m/s
61.	V_i	Vận tốc của chất lỏng được phun	m/s
62.	v_p	Vận tốc của piston bơm cao áp	m/s
63.	u	Độ nhớt động lực học	m^2/s
64.	We_l	Hệ số Weber $We_l = \frac{\rho u^2 d}{\sigma}$	
65.	$W_{ph.lt}$	Tốc độ chảy nhiên liệu qua lỗ phun	m/s
66.	$\Delta p = p_i - p_g$	Sự chênh lệch áp suất	Pa
67.	Φ	Góc nón tia phun	độ
68.	θ	Góc quay trục khuỷu	độ
69.	$\Delta\theta$	Góc phun tính bằng GQTK	độ
70.	μ_g	Độ nhớt động học chất khí	Ns/m^2
71.	μ_l	Độ nhớt động học chất lỏng	Ns/m^2
72.	ρ	Khối lượng riêng của vật chất	kg/m^3
73.	ρ_g	Khối lượng riêng chất khí công tác	kg/m^3
74.	ρ_l	Khối lượng riêng chất lỏng	kg/m^3
75.	σ	Sức căng bề mặt	N/m

DANH MỤC CÁC BẢNG

Bảng 1.1. Giải pháp giảm ô nhiễm và nâng cao hiệu suất động cơ diesel [61].....	13
Bảng 1.2. Các biện pháp tối ưu hóa quá trình cháy động cơ diesel giảm NO _x [50]	15
Bảng 1.3. Các qui định bắt buộc về phát thải NO _x [6].....	15
Bảng 1.4. Đặc tính nhiên liệu của dầu diesel và dầu cọ [5, 26].....	16
Bảng 1.5. Chỉ tiêu cơ bản của nhiên liệu hỗn hợp dầu cọ - dầu diesel phục vụ nghiên cứu [20].....	17
Bảng 1.6. Nội dung nghiên cứu và mục tiêu cần đạt được.....	29
Bảng 3.1. Các thông số kỹ thuật của động cơ diesel Hanshin 6LU32 [20]	63
Bảng 3.2. Các thông số phục vụ tính toán [14, 20, 35, 65]	65
Bảng 3.3. Đặc tính vĩ mô của tia phun	66
Bảng 3.4. Đường kính trung bình của hạt nhiên liệu SMD.....	68
Bảng 3.5. Thông số vận tốc âm thanh và hệ số mô-đun đàn hồi của nhiên liệu [70]	71
Bảng 3.6. Thời điểm bắt đầu phun của các loại nhiên liệu	71
Bảng 3.7. Kết quả tính toán về thời gian cháy trễ của các loại nhiên liệu	72
Bảng 3.8. Bảng thông số phục vụ tính toán lưu lượng phun [20].....	73
Bảng 3.9. Kết quả tính toán lượng nhiên liệu cấp theo loại nhiên liệu.....	73
Bảng 3.10. Quy trình tính toán mô phỏng	87
Bảng 4.1. Các chế độ thử nghiệm	105
Bảng 4.2. Các thông số kỹ thuật cơ bản của phanh thủy lực	106
Bảng 4.3. Thông số kỹ thuật của thiết bị đo áp suất cháy cực đại p_z	108
Bảng 4.4. Giá trị p_z đối với các loại nhiên liệu ở 2 chế độ tải khác nhau	111
Bảng 4.5. Thời điểm bắt đầu phun và áp suất phun nhiên liệu lớn nhất.....	112
Bảng 4.6. Kết quả thực nghiệm về thời gian cháy trễ của nhiên liệu	114
Bảng 4.7. Suất tiêu hao nhiên liệu đối với các loại nhiên liệu khác nhau.....	115
Bảng 4.8. Ảnh hưởng của loại nhiên liệu đến định lượng cấp nhiên liệu	116
Bảng 4.9. Kết quả thực nghiệm về hàm lượng NO _x trong khí thải.....	123
Bảng 4.10. Bảng dự kiến về yếu tố gây ảnh hưởng và mức giá trị.....	125
Bảng 4.11. Tạo ma trận thí nghiệm.....	126
Bảng 4.12. Các yếu tố kiểm soát cho phép tính phân đoạn.....	128
Bảng 4.13. Kết quả nghiên cứu tối ưu hóa	128

DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ, ĐỒ THỊ

Hình 1.1. Sơ đồ hệ thống nhiên liệu nhẹ cho động cơ diesel tàu thủy (DO).....	8
Hình 1.2. Sơ đồ hệ thống nhiên liệu nặng cho động cơ diesel tàu thủy (FO)	9
Hình 1.3. Cấu tạo của đầu vòi phun	12
Hình 1.4. Cấu tạo vòi phun kiểu kín dùng kim phun	12
Hình 1.5. Sơ đồ mô tả hình thành hỗn hợp, cháy và phát thải của động cơ diesel [41].....	14
Hình 1.6. Quan hệ giữa các thông số nhiệt động của hỗn hợp dầu cò-dầu diesel theo tỉ lệ % dầu cò và dầu diesel.....	28
Hình 2.1. Mô hình phun nhiên liệu với các biến số công tác	32
Hình 2.2. Cấu trúc chùm tia phun	33
Hình 2.3. Mô tả kích thước đầu phun và cấu trúc tia phun nhiên liệu.....	37
Hình 2.4. Mối quan hệ giữa vận tốc âm thanh và nhiệt độ trong nước.....	42
Hình 2. 5. Sơ đồ đối tượng nghiên cứu theo qui hoạch thực nghiệm	56
Hình 3.1. Đặc tính chiều dài tia phun S của các loại nhiên liệu	66
Hình 3.2. Đặc tính góc nón tia phun ϕ đối với các loại nhiên liệu	67
Hình 3.3. Đặc tính chiều dài phân rã sơ cấp L_b của các loại nhiên liệu	67
Hình 3.4. Chương trình tính thời gian cháy trễ của nhiên liệu.....	72
Hình 3.5. Sơ đồ khối quy trình ứng dụng Ansys Fluent để mô phỏng	74
Hình 3.7. Mặt cắt đầu vòi phun.....	75
Hình 3.7. Vòi phun động cơ diesel 6LU32.....	75
Hình 3.8. Hình ảnh mô phỏng không gian chứa chất lỏng và chia lưới không gian tính toán ở đầu vòi phun	76
Hình 3.9. Trường phân bố áp suất trong lỗ phun của 5 loại nhiên liệu.....	77
Hình 3.10. Trường phân bố vận tốc trong lỗ phun biểu diễn theo đường đồng mức của 5 loại nhiên liệu.....	79
Hình 3.11. Trường phân bố vận tốc trong lỗ phun theo đường dòng – chùm 10 lỗ phun của 5 loại nhiên liệu.....	80
Hình 3.12. Trường phân bố vận tốc trong lỗ phun theo đường dòng của 5 loại nhiên liệu tại 1 lỗ phun.....	81

Hình 3.13. Trường phân bố vận tốc trong lỗ phun theo vector của 5 loại nhiên liệu	82
Hình 3.14. Trường phân bố theo năng lượng động năng rơi trong lỗ phun của 5 loại nhiên liệu.....	84
Hình 3.15. Góc nghiêng cứu theo GQTK.....	88
Hình 3.16. Không gian tính toán theo vị trí của piston	88
Hình 3.17. Hình ảnh lưới của các mô hình tính toán	89
Hình 3.18. Mặt đỉnh piston và nắp xi lanh động cơ diesel 6LU32	89
Hình 3.19. Hình dạng không gian buồng đốt động cơ diesel 6LU32 trong AutoCAD Mechanical 2017	90
Hình 3.20 (1-6). Phân bố áp suất trong buồng đốt tại mặt cắt đứng đi qua đường tâm xy lanh theo các GQTK trên động cơ diesel 6LU32, PO20	91
Hình 3.20 (7-12). Phân bố áp suất trong buồng đốt tại mặt cắt đứng đi qua đường tâm xy lanh theo các GQTK trên động cơ diesel 6LU32, PO20	91
Hình 3.21 (1-6). Phân bố nhiệt độ trong buồng đốt tại mặt cắt đứng đi qua đường tâm xy lanh theo các GQTK trên động cơ diesel 6LU32, PO20	94
Hình 3.21 (7-12). Phân bố nhiệt độ trong buồng đốt tại mặt cắt đứng đi qua đường tâm xy lanh theo các GQTK trên động cơ diesel 6LU32, PO20	94
Hình 3.22 (1-6). Phân bố vận tốc cháy trong buồng đốt tại mặt cắt đứng đi qua đường tâm xy lanh theo các GQTK trên động cơ diesel 6LU32, PO20	97
Hình 3.22 (7-12). Phân bố vận tốc cháy trong buồng đốt tại mặt cắt đứng đi qua đường tâm xy lanh theo các GQTK trên động cơ diesel 6LU32, PO20	97
Hình 3.23. Trường vector vận tốc tại mặt cắt đứng đi qua đường tâm xi lanh động cơ diesel 6LU32 tại 360 ⁰ GQTK, PO20.....	99
Hình 3.24. Trường độ lớn vận tốc tại mặt cắt đứng đi qua đường tâm xi lanh động cơ diesel 6LU32 tại 360 ⁰ GQTK, PO20.....	99
Hình 3.25. Áp suất tính tại mặt cắt đứng đi qua đường tâm xi lanh động cơ diesel 6LU32 tại 360 ⁰ GQTK, PO20.....	100
Hình 3.26. So sánh diễn biến áp suất trong xi lanh giữa mô phỏng và thực nghiệm	102
Hình 4.1. Sơ đồ hệ thống và các thiết bị thí nghiệm.....	105
Hình 4.2. Các thiết bị tại Trung tâm nghiên cứu hệ động lực tàu thủy.....	106

Hình 4.3. Đồ thị áp suất cháy đo thực tế động cơ 6LU32 của 4 loại nhiên liệu ở cùng xy lanh số 1, 400kW	110
Hình 4.4. Đồ thị áp suất cháy đo thực tế động cơ 6LU32 của 4 loại nhiên liệu ở cùng xy lanh số 1, 600kW	110
Hình 4.5. Thời điểm bắt đầu phun và áp suất phun nhiên liệu lớn nhất ở chế độ 400kW của động cơ 6LU32.....	112
Hình 4.6. Thời điểm bắt đầu phun và áp suất phun nhiên liệu lớn nhất ở chế độ 600kW của động cơ 6LU32.....	112
Hình 4.7. Đồ thị quá trình cháy và thời gian cháy trễ của các loại nhiên liệu đối với động cơ 6LU32 ở chế độ tải 600kW	114
Hình 4.8. Đồ thị quá trình cháy và thời gian cháy trễ của các loại nhiên liệu đối với động cơ 6LU32 ở chế độ tải 400kW	114
Hình 4.9. Suất tiêu thụ nhiên liệu đối với các loại nhiên liệu ở hai chế độ tải.....	116
Hình 4.10. Ảnh hưởng của loại nhiên liệu đến lượng nhiên liệu phun vào động cơ...	117
Hình 4.11. Hình ảnh nhiên liệu bắt đầu phun ở -11,7 độ GQTK trước ĐCT, 273 v/p	118
Hình 4.12. Hình ảnh nhiên liệu hòa trộn, cháy ở -7 độ GQTK trước ĐCT, 273 v/p	119
Hình 4.13. Hình ảnh nhiên liệu cháy ở -3 độ GQTK trước ĐCT, 273 v/p	120
Hình 4.14. Hình ảnh nhiên liệu cháy ở 5 độ GQTK sau ĐCT, 273 v/p.....	120
Hình 4.15. Hình ảnh nhiên liệu cháy ở 11 độ GQTK sau ĐCT, 273 v/p.....	122
Hình 4.16. Hình ảnh nhiên liệu cháy ở 22 độ GQTK sau ĐCT, 273 v/p.....	122
Hình 4.17. Đồ thị biểu thị hàm lượng NO_x trong khí thải động cơ ở chế độ tải 600kW khi sử dụng 4 loại nhiên liệu	123
Hình 4.18. Biểu đồ Pareto đã chuẩn hóa ảnh hưởng của g_e , NO_x	127
Hình 4.19. Biểu đồ phân tích dư theo biến g_e và NO_x	127

MỞ ĐẦU

LÝ DO THỰC HIỆN ĐỀ TÀI

Hiện nay, ô nhiễm môi trường và cạn kiệt nguồn tài nguyên thiên nhiên là vấn đề mang tính toàn cầu, mà Việt Nam không phải là ngoại lệ. Nhằm giải quyết điều này một cách chiến lược, Liên hiệp quốc cùng với các cơ quan đại diện như Tổ chức năng lượng quốc tế (IAEA), Tổ chức Hàng hải quốc tế (IMO)... đã đưa ra những khuyến cáo thông qua các bộ luật quốc tế mang tính bắt buộc về sử dụng tiết kiệm năng lượng, hạn chế phát thải khí độc hại ra môi trường. Trong lĩnh vực hàng hải, mà Việt Nam là thành viên chính thức của IMO từ năm 1983, với đội tàu vận tải biển có tổng trọng tải trên 8 triệu tấn DWT, Phụ lục VI thuộc Bộ luật MARPOL 73/78 đã đưa ra những tiêu chuẩn về phát thải (NO_x , SO_x , CO_2 ...) rất khắt khe đối với các động cơ diesel được lắp đặt trên tàu làm động lực chính lai chân vịt, máy phụ và nồi hơi. Theo đó, tàu được trang bị các động cơ diesel nếu không đáp ứng các tiêu chuẩn về phát thải sẽ không được cập cảng của các nước thành viên của IMO và như vậy sẽ ảnh hưởng nghiêm trọng đến chiến lược kinh doanh của đội tàu của các quốc gia, trong đó có nước ta. Vì vậy các chủ tàu đang phải cân nhắc các lựa chọn của mình để đảm bảo sự tuân thủ.

Từ khi Phụ lục VI, MARPOL 73/78 có hiệu lực toàn cầu (2013) [6] và ngưỡng lưu huỳnh 0,5% trong dầu nhiên liệu hàng hải toàn cầu theo quy định của IMO sẽ có hiệu lực vào ngày 01/01/2020, Chính phủ Việt Nam đã yêu cầu Bộ Giao thông vận tải, Bộ công thương... phải xây dựng ngay các giải pháp công nghệ thích hợp để sao cho các công ty vận tải biển nước ta một mặt vẫn tuân thủ được các qui định quốc tế, mặt khác vẫn đáp ứng được tính kinh tế và đặc biệt không làm phát sinh thêm nguồn gây ô nhiễm môi trường. Vậy, để đáp ứng được những vấn đề này, đã có nhiều giải pháp công nghệ được đề xuất nghiên cứu, triển khai ứng dụng trên thế giới và Việt Nam như: chế tạo mới động cơ điện, sử dụng các nguồn năng lượng sạch (khí tự nhiên, khí dầu mỏ), thiết bị làm sạch khí xả, NLSH có khả năng tái tạo...v.v. Tuy nhiên, trong lĩnh vực hàng hải, các động cơ diesel được sử dụng đều có công suất lớn từ vài trăm kW đến hàng vạn kW, vậy nên việc ứng dụng động cơ chạy bằng ắc quy điện là không khả thi; sử dụng nhiên liệu khí hay lắp thêm thiết bị làm sạch khí xả đòi hỏi chi phí đầu tư rất cao và vấn đề an toàn cháy nổ rất khó được đảm bảo. Vậy hướng nghiên cứu khả thi nhất là sử dụng NLSH giàu thành phần ô xy, rất ít thành phần lưu huỳnh và có khả

năng tái tạo. Hiện tại, NLSH đang được nghiên cứu sử dụng dưới hai dạng khác nhau cho động cơ diesel: nhiên liệu diesel sinh học (Biodiesel) và dầu thực vật nguyên chất sử dụng trực tiếp. NLSH có đặc tính lý hóa khá giống nhiên liệu diesel truyền thống (DO), nhưng để có được loại nhiên liệu này cần phải thực hiện quá trình este hóa dầu thực vật (hoặc mỡ động vật) cần đến công nghệ hiện đại và sử dụng một lượng lớn hóa chất khác (NaOH) và đây cũng là nguồn phát sinh thêm gây ô nhiễm môi trường; bên cạnh đó nhiên liệu diesel sinh học có giá thành khá đắt [10, 21]. DTV nguyên chất được sản xuất bằng công nghệ khá đơn giản thông qua ép các loại hạt (hướng dương, jatropha..) hoặc quả (cọ, dừa..), lọc bớt thành phần nước và cặn là có thể sử dụng được. DTV nguyên chất có ưu điểm là giá thành rẻ, có khả năng tái tạo, thân thiện với môi trường và không tạo thêm nguồn gây ô nhiễm trong quá trình sản xuất, sử dụng, nhưng có nhược điểm là độ nhớt cao, nhiệt trị thấp. Với những ưu điểm cơ bản của DTV, đã có một số công trình nghiên cứu sử dụng dầu thực vật trộn với nhiên liệu truyền thống tạo thành nhiên liệu hỗn hợp và được sử dụng như loại nhiên liệu thay thế dành cho động cơ diesel nói chung và động cơ diesel thủy nói riêng [20, 66].

Như vậy, đối chiếu với yêu cầu cấp bách của Việt Nam nhằm đáp ứng tiêu chuẩn phát thải đối với đội tàu vận tải biển, trên cơ sở các điều kiện về công nghệ, kinh phí đầu tư và các điều kiện xã hội khác, việc lựa chọn hướng nghiên cứu sử dụng nhiên liệu hỗn hợp (trong đó có thành phần dầu thực vật nguyên chất) làm nhiên liệu thay thế cho nhiên liệu hóa thạch truyền thống đối với đội tàu vận tải biển Việt Nam thực sự cần thiết trong giai đoạn hiện tại cũng như trong tương lai. Tuy nhiên, việc sử dụng nhiên liệu hỗn hợp làm nhiên liệu thay thế dành cho các động cơ diesel đang được lắp đặt trên tàu thủy sẽ phát sinh hàng loạt các vấn đề cần được giải quyết đó là: hiệu suất cháy của loại nhiên liệu này trong buồng đốt của động cơ diesel đã được thiết kế để sử dụng nhiên liệu hóa thạch, vấn đề phát thải khí độc hại, vấn đề suy giảm công suất và đặc biệt làm sao để một động cơ diesel thủy đang được khai thác sử dụng nhiên liệu hỗn hợp dầu thực vật - diesel đáp ứng cả hai tiêu chuẩn phát thải và tính kinh tế.

Xuất phát từ những yêu cầu thực tế nêu trên, đề tài luận án: ***“Nghiên cứu ảnh hưởng của hỗn hợp nhiên liệu dầu thực vật – diesel đến phun nhiên liệu, tạo hỗn hợp, cháy và tính năng của động cơ diesel tàu thủy”*** được NCS lựa chọn để nghiên cứu.

Do nhiên liệu hỗn hợp dầu thực vật - diesel có những tính chất lý hóa tương đối khác biệt so với nhiên liệu hóa thạch truyền thống, nên nếu vẫn giữ nguyên trạng thái kỹ thuật của HTPNL như ban đầu (không hiệu chỉnh), nhất định loại nhiên liệu mới này sẽ làm ảnh hưởng đến đặc tính phun nhiên liệu, độ phun sương... và qua đó sẽ gây ảnh hưởng xấu đến quá trình cháy của nhiên liệu trong buồng đốt của động cơ diesel.

Như vậy, để có thể sử dụng một cách hiệu quả nhiên liệu hỗn hợp làm nhiên liệu thay thế cho động cơ diesel thủy, nhất thiết phải hiểu biết được tường tận những ảnh hưởng của nhiên liệu hỗn hợp đến đặc tính phun nhiên liệu, mức độ phun sương, khả năng hòa trộn giữa nhiên liệu hỗn hợp với không khí sạch trong buồng đốt của động cơ diesel thủy đang được khai thác. Tiếp theo, trên cơ sở các dữ liệu kỹ thuật thu được trong quá trình nghiên cứu, có thể hiệu chỉnh một cách thích hợp đối với hệ thống nhiên liệu để sao cho khi động cơ diesel chuyển sang sử dụng nhiên liệu thay thế (nhiên liệu hỗn hợp dầu thực vật - diesel) đạt được hai mục tiêu: đáp ứng tiêu chuẩn môi trường và tính kinh tế (suất tiêu thụ nhiên liệu).

Dựa vào lý thuyết động cơ diesel thì các yếu tố chính ảnh hưởng đến các chỉ tiêu công tác bao gồm: loại nhiên liệu (1); hệ thống phun nhiên liệu vào buồng đốt (2); loại buồng cháy (3); hệ thống trao đổi khí (4). Nếu giữ nguyên yếu tố kết cấu (3, 4) của động cơ, để khai thác động cơ diesel tàu thủy đạt các chỉ tiêu công tác thì có thể tác động vào yếu tố (1, 2). Ở Việt Nam hiện tại, theo hướng (1) đã có một số công trình [13, 15, 20] nghiên cứu giải pháp công nghệ sử dụng dầu thực vật cho động cơ diesel. Các nghiên cứu này mới dừng lại ở việc xác định tỉ lệ % dầu thực vật và tính khả thi của nhiên liệu hỗn hợp dầu thực vật - diesel làm nhiên liệu thay thế cho dầu diesel; còn theo hướng (2), có công trình [16] nghiên cứu ảnh hưởng của thông số phun hỗn hợp nhiên liệu dầu diesel – dầu dừa đến các chỉ tiêu kinh tế và môi trường của động cơ diesel cao tốc.

Trong khi đó động cơ diesel chính tàu thủy thường là loại thấp-trung tốc, sử dụng loại nhiên liệu chất lượng thấp có khối lượng riêng, nhiệt độ đông đặc, độ nhớt cao và có nhiều thành phần tạp chất hơn dầu DO là dầu nặng HFO và có các đặc tính công tác khác so với động cơ diesel cao tốc trong công trình nghiên cứu trên. Do đó khi tác động theo hướng (1) để xác định tỉ lệ % dầu thực vật theo thể tích trong hỗn hợp với nhiên liệu diesel và theo hướng (2) tác động đến hệ thống phun nhiên liệu động cơ diesel tàu

thủy có thể điều chỉnh góc phun sớm (GPS) và áp suất phun, cả 3 thông số trên đều ảnh hưởng đến chất lượng phun, đó là sự hình thành cấu trúc tia phun (gồm có các yếu tố: độ phân rã sơ cấp, chiều dài tia phun và góc nón phun) làm ảnh hưởng đến quá trình hòa trộn – cháy trong buồng đốt động cơ, thay đổi các chỉ tiêu công tác của động cơ.

Hiện tại, các nghiên cứu phân tích ảnh hưởng của thông số phun nhiên liệu đến cấu trúc tia phun, sự hình thành hỗn hợp, cháy và phát thải của động cơ diesel tàu thủy khi sử dụng hỗn hợp nhiên liệu dầu thực vật - diesel, trong đó có hỗn hợp dầu cọ - diesel nhằm nâng cao các chỉ tiêu kinh tế và môi trường một cách hệ thống vẫn còn những hạn chế nhất định.

MỤC ĐÍCH NGHIÊN CỨU

- Nghiên cứu ảnh hưởng của nhiên liệu hỗn hợp dầu cọ nguyên chất - diesel theo các tỉ lệ phần trăm khác nhau đến đặc tính phun, sự tạo hỗn hợp trong buồng đốt và một số tính năng của động cơ diesel thủy 6LU32.

- Đưa ra các giải pháp hiệu chỉnh thích hợp đối với HTPNL của động cơ nghiên cứu và động cơ diesel tàu thủy nói chung khi sử dụng nhiên liệu hỗn hợp trên làm nhiên liệu thay thế.

ĐỐI TƯỢNG VÀ PHẠM VI NGHIÊN CỨU

Đối tượng:

- Hệ thống phun nhiên liệu động cơ diesel chính tàu thủy Hanshin 6LU32.
- Hỗn hợp dầu thực vật (dầu cọ) với dầu diesel (DO).

Giới hạn phạm vi nghiên cứu:

Chỉ nghiên cứu ảnh hưởng của đặc tính các loại nhiên liệu DO, PO10, PO20, PO30 và PO100 đến các đặc tính quá trình phun nhiên liệu, hòa trộn - cháy hỗn hợp không khí nhiên liệu trong buồng đốt động cơ diesel chính tàu thủy Hanshin 6LU32 trong phòng thí nghiệm. Xác định loại PO và các thông số phun để đạt chỉ tiêu kinh tế và môi trường.

Về lý thuyết nghiên cứu quy luật thay đổi của đặc tính vĩ mô (chiều dài phân rã sơ cấp, chiều dài tia phun và góc nón phun tia phun), đặc tính vi mô (đường kính trung bình hạt nhiên liệu phun sương) và các thông số phun khi sử dụng nhiên liệu hỗn hợp so với khi sử dụng dầu diesel.

Về thực nghiệm nghiên cứu xác định các thông số phun (GPS, áp suất phun) theo

tỉ lệ % dầu cò trong hỗn hợp với dầu diesel để đạt chỉ tiêu kinh tế (g_c) và môi trường (NO_x) trên động cơ diesel chính tàu thủy Hanshin 6LU32 tại Trung tâm thí nghiệm hệ động lực tàu thủy – Trường Đại học Hàng hải Việt Nam.

PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Phương pháp nghiên cứu tổng hợp, kết hợp chặt chẽ giữa nghiên cứu lý thuyết, mô phỏng và thực nghiệm kiểm chứng.

Ý NGHĨA KHOA HỌC VÀ THỰC TIỄN

Ý nghĩa khoa học:

- Các kết quả nghiên cứu lý thuyết đã làm sáng tỏ được ảnh hưởng của hỗn hợp nhiên liệu dầu cò - diesel đến đặc tính vĩ mô (chiều dài phân rã sơ cấp, chiều dài tia phun và góc nón tia phun) và đặc tính vi mô (đường kính trung bình hạt nhiên liệu phun sương) và các thông số công tác của quá trình phun nhiên liệu. Các kết quả nghiên cứu về quá trình lưu động nhiên liệu qua lỗ phun, quá trình hòa trộn-cháy trong buồng đốt bằng phần mềm chuyên nghiệp Ansys Fluent phục vụ mô phỏng (CFD) giúp làm sáng tỏ thêm về sự ảnh hưởng của nhiên liệu hỗn hợp đến quá trình cháy trong buồng đốt của động cơ có sẵn. Đây là cơ sở khoa học quan trọng để giúp chọn được loại nhiên liệu thay thế hiệu quả cho động cơ diesel tàu thủy. Bên cạnh đó, việc ứng dụng phương pháp qui hoạch thực nghiệm để hiệu chỉnh tối ưu hệ thống nhiên liệu của động cơ có sẵn khi chuyển sang sử dụng nhiên liệu hỗn hợp dầu thực vật - diesel đạt được cùng một lúc hai mục tiêu: môi trường và tính kinh tế là một sáng tạo quan trọng của nội dung luận án.

Ý nghĩa thực tiễn:

- Các kết quả nghiên cứu của luận án là cơ sở khoa học góp phần vào định hướng một cách chính xác lựa chọn nhiên liệu hỗn hợp dầu thực vật - diesel làm nhiên liệu thay thế cho động cơ diesel thủy. Bên cạnh đó, phương pháp hiệu chỉnh tối ưu hệ thống nhiên liệu dựa trên nền tảng lý thuyết “Bề mặt đáp ứng” với hàm tối ưu hai mục tiêu là giải pháp thực tế nhằm giúp các chủ tàu Việt Nam khi lựa chọn sử dụng nhiên liệu thay thế (nhiên liệu hỗn hợp) sẽ có khả năng hiệu chỉnh động cơ diesel do mình quản lý đạt được hiệu quả cao nhất về môi trường và tính kinh tế; tạo nền tảng quan trọng để xây dựng qui trình khai thác ổn định động cơ diesel chính tàu thủy nhằm nâng cao chỉ tiêu kinh tế và môi trường theo tiêu chuẩn IMO.

- Mô hình mô phỏng số đã xây dựng có thể sử dụng làm tư liệu tham khảo phục vụ cho quá trình đào tạo sau đại học ngành kỹ thuật cơ khí động lực.

- Góp phần thực hiện thành công Đề tài NCKH & PTCN cấp Quốc gia “Nghiên cứu sử dụng nhiên liệu diesel sinh học hỗn hợp giữa dầu thực vật và dầu diesel cho động cơ diesel tàu thủy”, mã số ĐT.04.11/NLSH - thuộc Đề án phát triển NLSH đến năm 2015, tầm nhìn đến năm 2025 của Bộ Công thương do PGS.TSKH. Đặng Văn Uy làm chủ nhiệm đề tài.

CÁC ĐIỂM ĐÓNG GÓP MỚI

- Đã đưa ra được phương pháp tính toán các thông số phun nhiên liệu và thời điểm phun, thời điểm bốc cháy, thời gian cháy trễ thay đổi theo tỉ lệ dầu cò trong hỗn hợp với dầu diesel;

- Đã thu được qua thực nghiệm trên động cơ diesel chính tàu thủy Hanshin 6LU32 ở 40% và 60% tải những kết quả về phun nhiên liệu, đặc biệt là kết quả đo áp suất trong xy lanh và hình ảnh chụp trong buồng đốt bằng thiết bị Visio Scope, nhằm so sánh và đánh giá độ tin cậy của kết quả tính toán;

- Đã xây dựng được phương pháp mới hiệu chỉnh hệ thống nhiên liệu dựa trên lý thuyết “Bề mặt đáp ứng” với hàm tối ưu hai mục tiêu lần đầu tiên được áp dụng cho động cơ diesel thủy khi sử dụng nhiên liệu thay thế (hỗn hợp nhiên liệu dầu thực vật - diesel).

KẾT CẤU CỦA LUẬN ÁN

Luận án được thực hiện với 131 trang thuyết minh và 50 trang phụ lục, với 4 chương bao gồm những nội dung chính sau:

- Mở đầu;
- Chương 1: Tổng quan;
- Chương 2: Cơ sở lý thuyết quá trình phun hỗn hợp dầu thực vật - diesel của động cơ diesel tàu thủy;
- Chương 3: Nghiên cứu lý thuyết ảnh hưởng của hỗn hợp dầu thực vật – dầu diesel đến hệ thống phun nhiên liệu động cơ diesel tàu thủy;
- Chương 4: Nghiên cứu thực nghiệm;
- Kết luận và kiến nghị: trình bày những kết quả và đóng góp mới của luận án trong lĩnh vực chuyên ngành và hướng cần nghiên cứu tiếp theo.
- Các phụ lục.

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN

Như đã biết, HTPNL đóng vai trò vô cùng quan trọng trong quá trình biến năng lượng hóa học từ đốt cháy nhiên liệu thành công năng đối với động cơ đốt trong nói chung và động cơ diesel nói riêng. Trong HTPNL truyền thống kiểu cơ khí, bơm cao áp và vòi phun là hai thành phần cốt lõi và chúng có vai trò quyết định trong quá trình cấp nhiên liệu vào động cơ diesel.

Phun nhiên liệu vào động cơ là quá trình tương đối phức tạp và luôn được quan tâm nghiên cứu từ nhiều thập kỉ qua. Trên thực tế, HTPNL của động cơ diesel thường được thiết kế tối ưu đối với mỗi loại nhiên liệu đã được lựa chọn, kể từ bơm cao áp, đường ống cao áp đến vòi phun và đặc biệt là cấu tạo của các lỗ phun. Vậy nên, muốn biết được sự ảnh hưởng của loại nhiên liệu mới đối với một HTPNL đã có sẵn, nhất thiết phải tìm hiểu dựa trên nền tảng lý thuyết về tổng quát HTNL cho động cơ diesel tàu thủy.

Với mục đích như vậy, trong chương này, NCS sẽ trình bày các vấn đề cơ bản cần thiết phục vụ quá trình nghiên cứu như: nguyên lý cấu tạo, chức năng, nhiệm vụ của hệ thống cấp, phun nhiên liệu của động cơ diesel thủy; cấu tạo của vòi phun trong hệ thống phun nhiên liệu kiểu cơ khí truyền thống mà luận án nghiên cứu; xu thế ứng dụng các giải pháp nhằm cải thiện chỉ tiêu kinh tế và môi trường cho động cơ diesel thế hệ cũ hiện nay, trong đó giải pháp áp dụng vào HTPNL là sử dụng nhiên liệu hỗn hợp dầu thực vật – dầu diesel được quan tâm nghiên cứu, đặc biệt trong lĩnh vực động cơ diesel cỡ vừa và lớn trên tàu thủy hiện nay đang rất được chú trọng về yếu tố bảo vệ môi trường; bên cạnh đó là đánh giá các công trình khoa học trong và ngoài nước liên quan đến nội dung nghiên cứu để tìm ra những điểm mà chưa có tác giả nào đề cập để luận án nghiên cứu giải quyết. Trình bày rõ các cơ sở khoa học lựa chọn đề tài nghiên cứu và các phân tích cụ thể lý do chọn sử dụng hỗn hợp dầu thực vật - diesel có nguồn gốc từ dầu cọ nguyên chất để nghiên cứu. Cuối cùng là đưa ra các biện pháp nghiên cứu cụ thể trong từng chương của luận án.

1.1. Hệ thống nhiên liệu động cơ diesel tàu thủy

Cấu tạo tổng thể của hệ thống nhiên liệu (HTNL) của động cơ diesel có thể chia thành hai phần là phần cấp nhiên liệu và hệ thống phun nhiên liệu.

- Phần cấp nhiên liệu – phần thấp áp: gồm két chứa nhiên liệu, thiết bị hâm, bơm thấp áp, lọc nhiên liệu và ống thấp áp. Chức năng của phần này là lọc sạch nhiên liệu rồi cung cấp cho hệ thống phun với áp suất, độ nhớt và nhiệt độ xác định.

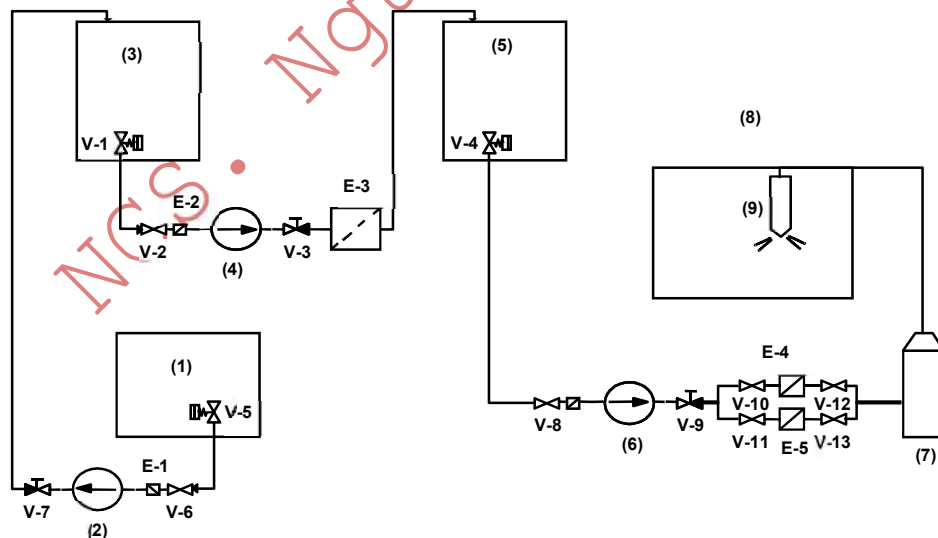
- Hệ thống phun nhiên liệu (HTPNL) – phần cao áp: gồm bơm cao áp (BCA), vòi phun (VP), ống cao áp và các bộ phận điều chỉnh-hiệu chỉnh. HTPNL thực hiện hầu như tất cả các yêu cầu đặt ra đối với quá trình phun nhiên liệu và có ảnh hưởng quyết định đến chất lượng quá trình hòa trộn, cháy nhiên liệu trong buồng đốt động cơ diesel.

1.1.1. Phân loại hệ thống nhiên liệu động cơ diesel tàu thủy

Với chức năng lọc sạch nhiên liệu rồi phun vào buồng đốt theo những yêu cầu phù hợp với đặc điểm cấu tạo và tính năng của động cơ. Từ đây, hệ thống nhiên liệu cho động cơ diesel tàu thủy được phân theo loại nhiên liệu như sau:

1.1.1.1. Hệ thống nhiên liệu nhẹ (DO)

Sơ đồ hệ thống:



Hình 1.1. Sơ đồ hệ thống nhiên liệu nhẹ cho động cơ diesel tàu thủy (DO)

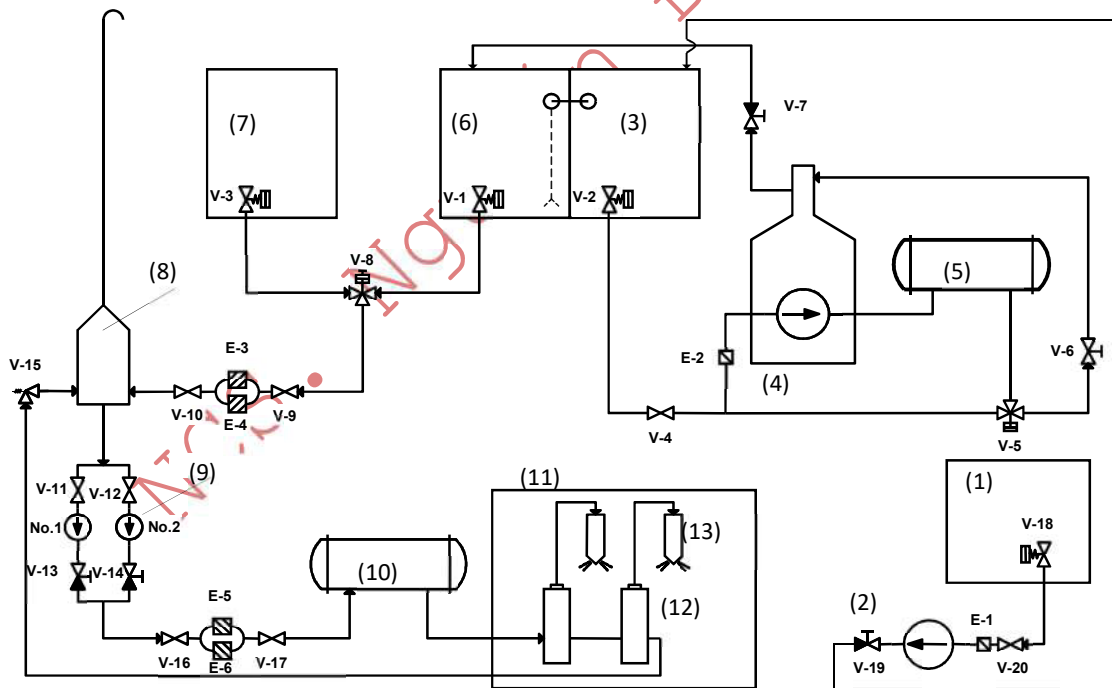
- | | | | |
|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| (1) Két chứa | (4) Bơm chuyển dầu | (7) Bơm cao áp | (10) V1÷10 Van chặn |
| (2) Bơm chuyển dầu | (5) Két trực nhật | (8) Động cơ diesel | (11) E1÷5 Phin lọc |
| (3) Két lắng | (6) Bơm cấp dầu | (9) Vòi phun | |

Nguyên lý làm việc: hệ thống nhiên liệu nhẹ sử dụng cho các động cơ trung tốc và cao tốc công suất nhỏ. Trong động cơ công suất lớn nó tồn tại song song với hệ thống nhiên liệu nặng. Nhiên liệu được bơm từ két chứa lên két lắng. Tại két lắng các tạp chất bẩn và nước được lắng xuống và xả ra ngoài qua các van xả, sau đó được bơm chuyển lên két trực nhật qua phin lọc. Nhiên liệu được bơm cấp dầu bơm tới bơm cao áp và được đưa đến vòi phun, phun vào xy lanh động cơ (nếu chất lượng dầu không tốt có thể bố trí thêm máy lọc ly tâm trước khi đưa tới két trực nhật). Trong một số hệ thống khác nhiên liệu từ két trực nhật tới BCA nhờ chiều cao của cột nhiên liệu.

Đặc điểm: sử dụng nhiên liệu có khối lượng riêng nhỏ (dưới 920 kg/m^3), độ nhớt thấp (dưới 30 cSt ở 50°C), nhiệt độ đông đặc thấp và các tạp chất khác như nước, lưu huỳnh, cốc, tro, xỉ có tỉ lệ nhỏ. Hệ thống nhiên liệu này không cần hệ thống hâm nhiên liệu cũng như có thể không cần dùng máy lọc ly tâm [14].

1.1.1.2. Hệ thống nhiên liệu nặng (HFO hoặc FO)

Sơ đồ hệ thống:



Hình 1.2. Sơ đồ hệ thống nhiên liệu nặng cho động cơ diesel tàu thủy (FO)

- | | | | |
|--------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| (1) Két chứa | (5) Bàu hâm | (9) Bơm cấp dầu | (13) Vòi phun |
| (2) Bơm chuyển dầu | (6) Két trực nhật FO | (10) Bàu hâm dầu | (14) V1÷20 Van chặn |
| (3) Két lắng FO | (7) Két trực nhật DO | (11) Động cơ diesel | (15) E1÷6 Phin lọc |
| (4) Máy lọc ly tâm | (8) Bàu tách hơi | (12) Bơm cao áp | |

Nguyên lý làm việc: nhiên liệu từ két chứa dưới hầm tàu được bơm chuyển dầu hút qua bầu lọc tới két lắng FO (3). Tại két lắng các tạp chất bẩn và nước được lắng xuống và xả ra ngoài, ở két lắng nhiên liệu có thể hâm sơ bộ để việc lắng tốt hơn. Nhiên liệu từ két lắng qua hộp van V-4 tiếp tục đến bầu hâm của máy lọc nhờ bơm chuyển rồi đến máy lọc ly tâm qua van V-6. Sau khi qua máy lọc để tách bỏ nước cặn bẩn nhiên liệu được đưa về két trực nhật FO qua van V-7. Từ két trực nhật, nhiên liệu chảy về két hoà trộn qua van 3 ngã, qua phin lọc rồi được bơm cấp dầu đẩy qua bầu lọc đến bầu hâm để đảm bảo độ nhớt. Sau đó BCA đẩy theo đường ống cao áp đến VP phun vào động cơ. Nhánh phần hệ thống nhiên liệu nhẹ: gồm két trực nhật DO lắp song song với két trực nhật FO. Trước khi tàu manơ hoặc điều động từ 20 - 30 phút có thể chuyển việc sử dụng hệ thống nhiên liệu nặng sang hệ thống nhiên liệu nhẹ bằng van chuyển 3 ngã V-8 có tác dụng làm nhiệt độ của nhiên liệu thay đổi từ từ khi chuyển từ nhiên liệu nặng sang nhiên liệu nhẹ và ngược lại để tránh hiện tượng kẹt piston plunger của BCA.

Hệ thống này dùng cho các động cơ diesel trung tốc, thấp tốc công suất lớn, sử dụng loại nhiên liệu có khối lượng riêng cao (trên 920 kg/m^3), nhiệt độ động đặc, độ nhớt cao (trên 30 cSt ở 50°C) và có các thành phần tạp chất như nước, lưu huỳnh, cặn, tro, xỉ lớn [14].

1.1.2. Hệ thống phun nhiên liệu động cơ diesel tàu thủy

Đối với động cơ diesel thủy, do điều kiện vận hành không giống như các phương tiện vận tải trên bộ, đặc biệt khi tàu ma nơ điều động cũng như khi sóng gió, do vậy HTPNL này cũng phải đáp ứng các yêu cầu tương đối khắt khe [14, 43]:

- HTPNL có nhiệm vụ cung cấp đủ một lượng nhiên liệu theo yêu cầu của tải ngoài và trong một khoảng thời gian nhất định vào buồng đốt của động cơ đúng thời điểm, dưới dạng sương mù nhằm tạo điều kiện cho nhiên liệu hòa trộn tốt nhất với khí sạch đã được nén trong xy lanh.

- Thu lại nhiên liệu thừa sau mỗi lần hoạt động của các bơm cao áp đưa quay trở lại két nhiên liệu.

1.1.2.1. Yêu cầu đối với hệ thống phun nhiên liệu cho động cơ diesel tàu thủy

Lưu lượng phun:

- Lượng nhiên liệu cấp vào phải đủ và chính xác theo yêu cầu của mỗi chu trình và có thể điều chỉnh được theo yêu cầu của phụ tải;

- Lượng nhiên liệu phun vào các xy lanh phải đồng đều (sự chênh lệch không vượt quá 5% khi để tay ga về vị trí cấp nhiên liệu lớn nhất). Nếu cấp không đều thì động cơ sẽ hoạt động rung động mạnh ảnh hưởng đến độ bền của động cơ.

Thời điểm phun:

- Nhiên liệu được phun vào buồng đốt phải đúng thời điểm. Nếu phun sớm quá, khi đó áp lực khí nén, nhiệt độ trong xy lanh còn thấp, nên nhiên liệu bốc hơi chậm, một phần bám vào đỉnh piston và thành xy lanh sẽ khó cháy gây lãng phí nhiên liệu và sinh khói đen. Một phần nhiên liệu cháy trước điểm chết trên (ĐCT) sẽ gây phản áp làm động cơ chạy rung hoặc sẽ không hoạt động được. Nếu phun muộn quá, thời gian không đủ để nhiên liệu cháy hết và gây lãng phí, áp lực sinh ra sẽ giảm làm giảm công suất động cơ, động cơ thải khói đen.

Áp suất phun:

Áp suất nhiên liệu phun vào buồng đốt phải đủ lớn để tạo sương tốt và có sức xuyên tốt, tạo điều kiện hoà trộn tối ưu với khí nén trong xy lanh. Tuy nhiên áp suất phun cũng không yêu cầu quá lớn vì gặp khó khăn trong chế tạo bơm cao áp, giảm tuổi thọ các chi tiết trong hệ thống.

Chất lượng phun:

- Nhiên liệu phải được phun ở trạng thái tối sương (càng tối sương càng tốt) hình dáng tia nhiên liệu phải phù hợp với buồng đốt, các hạt nhiên liệu phải có kích thước tương đối đồng đều, hoà trộn tốt với khí nén;

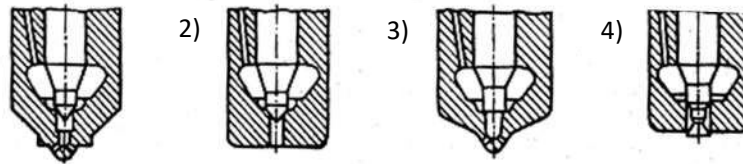
- Quá trình phun phải dứt khoát, không bị nhỏ giọt lúc bắt đầu và lúc kết thúc phun. Phải đảm bảo làm việc ổn định ở tốc độ quay tối thiểu đã quy định hoặc trong quá trình tàu chạy ra vào luồng, tải thấp và không ổn định.

1.1.2.2. Vòi phun

Trong HTPNL có nhiều chi tiết quan trọng, luận án chỉ tập trung nghiên cứu đến chi tiết chính là vòi phun của hệ thống phun nhiên liệu kiểu cơ khí truyền thống được trang bị trên các tàu đang khai thác vì nó liên quan đến mục tiêu nghiên cứu...

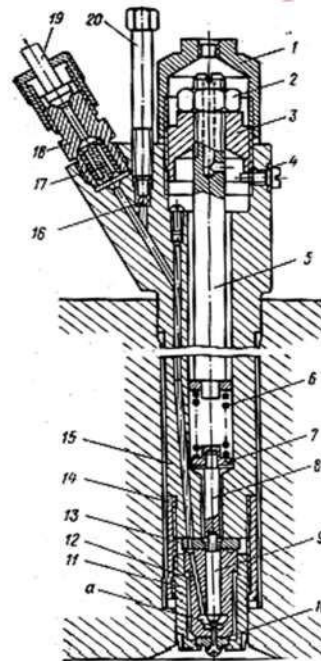
Vòi phun có nhiệm vụ phun nhiên liệu cao áp vào buồng đốt, xé toạc nhiên liệu thành sương với cấu trúc tia nhiên liệu phù hợp với phương pháp tổ chức quá trình cháy giúp cho nhiên liệu cháy hoàn toàn và thường có các dạng sau: kiểu hở; kiểu kín dùng van; kiểu kín dùng kim phun. Đầu vòi phun có nhiều loại: có nhiều lỗ tia, 1 lỗ tia, lỗ hình trụ, lỗ côn... Sau đây là cấu tạo của vòi phun trong hệ thống

phun nhiên liệu kiểu cơ khí truyền thống; Hình 1.3 thể hiện cấu tạo một số dạng đầu vòi phun, trong đó loại số 1 là dạng vòi phun của đối tượng nghiên cứu - động cơ 6LU32; Hình 1.4 thể hiện mặt cắt dọc theo đường tâm của vòi phun được lắp đặt ở động cơ 6LU32 [14].



Hình 1.3. Cấu tạo của đầu vòi phun

- (1) Mũ ốc chụp vòi phun
- (2) Đai ốc hãm
- (3) Mũ ốc
- (4) Vít hãm mũ ốc
- (5) Đũa ép (ty vòi phun)
- (6) Lò xo vòi phun
- (7) Vành đỡ lò xo
- (8) Đũa đẩy trung gian
- (9) Kim phun
- (10) Đầu phun
- (11) Chụp đầu phun
- (12) Đường dẫn dầu vào kim phun
- (13) Vành đệm
- (14) Chụp hãm đầu vòi phun
- (15) Thân vòi phun
- (16) Van xả khí
- (17) Thanh lọc
- (18) Rắc co ống dẫn
- (19) Ống dẫn dầu cao áp
- (20) Gu đông xả khí



Hình 1.4. Cấu tạo vòi phun kiểu kín dùng kim phun

Nguyên lý làm việc: nhiên liệu có áp suất cao từ BCA được dẫn vào đầu ống nối theo đường dẫn dầu vào khoang chứa nhiên liệu. Khi áp lực nhiên liệu tác dụng lên mặt côn chịu lực phía trên của kim phun thắng sức căng lò xo nâng kim phun lên. Nhiên liệu từ khoang chứa qua lỗ phun phun vào buồng đốt động cơ. Khi BCA kết thúc quá trình cung cấp nhiên liệu, áp suất trong khoang giảm đột ngột, lò xo đẩy kim phun đi xuống đóng kín lỗ phun, VP kết thúc phun. Trong quá trình phun một số ít nhiên liệu lọt qua khe hở giữa kim phun và đế kim phun đi lên khoang chứa lò xo và theo ống dẫn dầu về lại thùng chứa. Áp suất phun có thể điều chỉnh bằng cách xoay vít điều chỉnh trên thân vòi phun. Xoay vít điều chỉnh vào hoặc ra

làm tăng hoặc giảm sức căng lò xo, do đó áp suất phun sẽ tăng hoặc giảm. Hoặc có thể điều chỉnh áp suất phun bằng cách thêm bớt những miếng đệm mỏng trên lò xo. Việc ấn định áp suất này thực hiện trên băng thử vòi phun.

1.2. Xu thế ứng dụng giải pháp nhằm cải thiện chỉ tiêu kinh tế và môi trường của động cơ diesel tàu thủy hiện nay

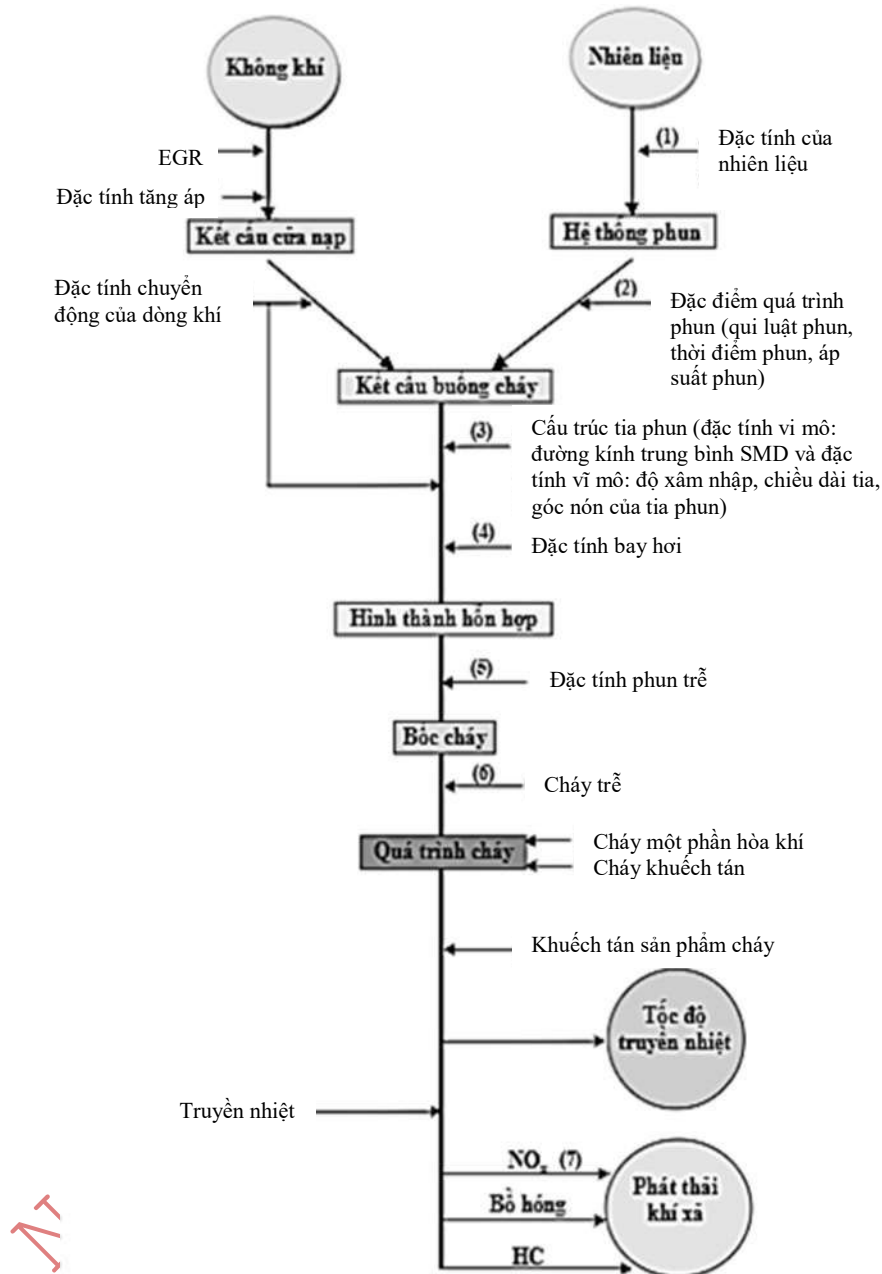
Đội tàu biển Việt Nam, với tổng tải trọng khoảng 8 triệu tấn DWT, hàng năm tiêu thụ khoảng trên dưới 400 triệu tấn nhiên liệu hóa thạch và thải ra một khối lượng rất lớn các khí độc hại đã và đang phá hủy nghiêm trọng môi trường [7]. Các nhà khoa học đã xác định được phần lớn các chất gây ô nhiễm trầm trọng và nguy hiểm trong không khí như CO, HC, NO_x, SO_x ... đều có mặt trong khí xả của động cơ diesel dùng nhiên liệu truyền thống, trong đó NO_x là chất đặc biệt nghiêm trọng gây nhiều tác hại cho sức khỏe con người và môi trường [31].

Theo trên sơ đồ mô tả sự hình thành hỗn hợp và cháy nhiên liệu của động cơ diesel (Hình 1.5), cùng với sự phát triển của khoa học công nghệ, đã có nhiều công trình nghiên cứu nhằm làm giảm lượng phát thải độc hại từ động cơ diesel, nhưng để giảm phát thải độc hại mà giữ nguyên công suất động cơ khi dùng nhiều giải pháp luôn là vấn đề khó và chi phí cao. Vậy hướng nghiên cứu thứ nhất là sử dụng nhiên liệu thân thiện với môi trường và thứ hai là kiểm soát tốt các thông số của quá trình phun nhiên liệu là một trong các giải pháp khả thi và dễ thực hiện hơn [59].

Trên Bảng 1.1 tổng hợp một số giải pháp nhằm nâng cao chỉ tiêu kinh tế và môi trường cho động cơ diesel.

Bảng 1.1. Giải pháp giảm ô nhiễm và nâng cao hiệu suất động cơ diesel [61]

TT	Giải pháp	Nội dung
1.	Tác động bên ngoài động cơ	- Thấp lọc khí thải; - Sử dụng bộ lọc xúc tác; - Sử dụng bộ lọc bồ hóng.
2.	Tác động bên trong động cơ	- Cải thiện quá trình nạp của động cơ; - Cải thiện quá trình phun nhiên liệu; - Cải thiện hình dáng buồng đốt; - Cấp hơi nước vào đường nạp.
3.	Thay đổi thành phần nhiên liệu (sử dụng nhiên liệu sinh học làm nhiên liệu thay thế)	- Giảm nồng độ lưu huỳnh có trong nhiên liệu diesel; - Thêm phụ gia vào nhiên liệu; - Nhiên liệu nhũ tương; - Sử dụng NLSH.



Hình 1.5. Sơ đồ mô tả hình thành hỗn hợp, cháy và phát thải của động cơ diesel [41]

Tối ưu hóa các thông số công tác của động cơ diesel và giảm ô nhiễm dựa trên các giải pháp đặt ra thường bị mâu thuẫn bởi các yếu tố công suất, suất tiêu hao nhiên liệu và hàm lượng phát thải khí độc. Nên khi đạt được một tiêu chí này thường ảnh hưởng xấu đến tiêu chí khác. Khai thác động cơ diesel tàu thủy tối ưu cần chọn phương án nào theo các biện pháp cụ thể hay chọn phương án tổ hợp của một số biện pháp cho phù hợp với mục đích sử dụng cụ thể, ví dụ khi khởi động,

chạy luồng, chạy biển êm, khi sóng gió,... nhất thiết phải có các chế độ khai thác vận hành khác nhau.

Bảng 1.2 tổng hợp các nghiên cứu của các nhà khoa học một số biện pháp tối ưu hóa quá trình cháy động cơ diesel nhằm giảm NO_x dựa trên cơ sở của các giải pháp đặt ra ở Bảng 1.1.

Bảng 1.2. Các biện pháp tối ưu hóa quá trình cháy động cơ diesel giảm NO_x [50]

TT	Biện pháp xử lý	NO_x	Suất tiêu hao nhiên liệu
1.	Điều chỉnh giảm GPS	-	+
2.	Thiết kế mới vòi phun	-	+
3.	Hồi lưu khí thải (EGR)	-	+
4.	Hồi lưu khí thải có làm mát	-	-
5.	Tăng áp (Supercharging)	+	-
6.	Làm mát khí nạp (Intercooling)	-	-
7.	Phun môi (Pilot injection)	0	0
8.	Phun thứ cấp (Secondary injection)	-	+
9.	Điều chỉnh áp suất phun	+	-
10.	Giảm tỉ số nén	-	0
11.	Nhũ tương nước – nhiên liệu	-	-
12.	Chất xúc tác hấp thụ	-	+

(Chú thích: giảm (-), tăng (+), không thay đổi (0)).

1.3. Những quy định pháp lý Quốc tế về phát thải khí NO_x đối với động cơ diesel tàu thủy

Trong Phụ lục VI của Công ước quốc tế MARPOL 73/78 đưa ra các quy định về hạn chế phát thải khí NO_x từ tàu được áp dụng cho các động cơ diesel có công suất từ 130kW trở lên. IMO kiểm soát phát thải khí NO_x bằng hệ thống với 3 tiêu chuẩn ứng với năm tàu bắt đầu được đóng và công suất động cơ. Trên Bảng 1.3 biểu thị các tiêu chuẩn hạn chế phát thải NO_x .

Bảng 1.3. Các quy định bắt buộc về phát thải NO_x [6]

Tiêu chuẩn	Khu vực áp dụng	Thời điểm đóng tàu	Tổng giới hạn khối lượng phát thải NO_x (g/kW.h), n (v/p)		
			n<130	130≤n<2000	n≥2000
I	Toàn cầu	01/01/2000	17,0	$45.n^{-0,2}$	9,8
II	Toàn cầu	01/01/2011	14,4	$44.n^{-0,23}$	7,7
III	Vùng biển đặc biệt	01/01/2016	3,4	$9.n^{-0,2}$	2,0

Các qui định này cũng có hiệu lực từ ngày 01 tháng 01 năm 2013 và các tiêu chuẩn về phát thải NO_x là một trong các mục tiêu hướng tới của luận án nghiên cứu khi đưa ra giải pháp hiệu chỉnh thích hợp. NO_2 là chất khí độc nhất trong họ NO_x vì vậy việc tổ chức tốt quá trình cháy để giảm tốc độ phản ứng tạo thành và tăng tốc độ phản ứng phân giải chất ô nhiễm này có ý nghĩa quan trọng.

1.4. Nhiên liệu sinh học và xu hướng ứng dụng cho động cơ diesel tàu thủy

1.4.1. Nhiên liệu sinh học dùng cho động cơ diesel

Nhiên liệu sinh học dùng cho động cơ diesel cho đến thời điểm này vẫn là Biodiesel và dầu thực vật nguyên gốc SVO (Straight Vegetable Oil - SVO). Do những lợi thế về tính chất thân thiện với môi trường, có thể giảm nồng độ các chất độc hại trong khí thải đặc biệt là NO_x và có thể tái sinh, nên NLSH được khuyến khích nghiên cứu sử dụng.

Trong số các loại dầu thực vật dùng làm nhiên liệu cho động cơ thì dầu cọ có ưu điểm về đặc tính gần giống với dầu diesel. Dầu cọ nguyên gốc không cần tổng hợp thành Biodiesel mà pha trực tiếp vào dầu diesel dùng làm nhiên liệu thông qua một bộ tạo hỗn hợp. Tuy nhiên, dầu cọ có độ nhớt khá cao so với dầu diesel, nên khi pha trộn dầu cọ vào dầu diesel cần gia nhiệt đến khoảng 40 độ C để giảm độ nhớt hỗn hợp về gần với nhiên liệu DO. Bảng 1.4 trình bày thành phần hóa học và các chỉ tiêu nhiên liệu của dầu cọ và dầu diesel.

Bảng 1.4. Đặc tính nhiên liệu của dầu diesel và dầu cọ [5, 26]

Đặc tính nhiên liệu	Dầu diesel (DO)	Dầu cọ (PO100)
Cấu trúc nhiên liệu	C10 - C21 HC	C12 - C22 FAME
Trị số Cetan, (CN)	40 ÷ 50	42 ÷ 56
Nhiệt trị, (MJ/kg)	43,4	37,11
Độ nhớt động học ở 40 ⁰ C, (cSt)	1,3 ÷ 2,4	1,9 ÷ 6,0
Khối lượng riêng ở 15 ⁰ C, (kg/dm ³)	0,850	0,9225
Hàm lượng nước, (% thể tích)	≤0,05%	≤0,05%
Lượng các bon, (% khối lượng)	86,6	77
Lượng hydro, (% khối lượng)	13,4	12
Lượng ô xy, (% khối lượng)	0	16

Lượng lưu huỳnh, (% khối lượng)	≤0,05%	0 – 0,0024
Nhiệt độ sôi, (°C)	188 ÷ 343	182 ÷ 338
Nhiệt độ chớp cháy, (°C)	60 ÷ 80	100 ÷ 170
Nhiệt độ chảy loãng nhỏ nhất, (°C)	-35 đến -15	-15 đến 10
Tỉ số lượng không khí/Lượng nhiên liệu, (A/F)	14,51	11,83

1.4.2. Nhiên liệu sinh học dùng nghiên cứu trong luận án

Luận án sử dụng nhiên liệu hỗn hợp giữa dầu cọ nguyên chất (Palm Oil) và dầu diesel là kết quả nghiên cứu của đề tài cấp nhà nước Mã số: ĐT.04.11/NLSH thuộc “Đề án phát triển NLSH đến năm 2015, tầm nhìn đến năm 2025” do PGS.TSKH. Đặng Văn Uy chủ trì có ký hiệu là PO10, PO20, PO30 và loại không pha trộn PO100 tương ứng với tỉ lệ phần trăm thể tích dầu cọ trong hỗn hợp là 10%, 20%, 30% và dầu cọ nguyên chất. Chỉ tiêu cơ bản của hỗn hợp nhiên liệu dầu cọ - diesel theo các tỉ lệ trình bày trong Bảng 1.5 đã được pha phụ gia “Nano Fuel Booster” tỉ lệ 1/800 theo chỉ định của nhà sản xuất, để tăng cường sự đồng thể khi pha trộn và tăng trị số Cetan cho dầu cọ.

Bảng 1.5. Chỉ tiêu cơ bản của nhiên liệu hỗn hợp dầu cọ - dầu diesel phục vụ nghiên cứu [20]

STT	Tên chỉ tiêu	Loại nhiên liệu				
		DO	PO10	PO20	PO30	PO100
1	Khối lượng riêng ở 15 ⁰ C, (kg/m ³)	850,0	853,8	859,9	866,8	922,5
2	Độ nhớt động học ở 40 ⁰ C, (cSt)	2,60	3,42	5,31	6,45	40,24
3	Trị số Cetan, (CN)	42,89	50,13	50,91	52,11	52,92
4	Nhiệt độ chớp cháy cốc kín, (°C)	72	73	75	77	135
5	Nhiệt trị, (MJ/kg]	43,4	39,72	39,55	38,69	37,11
6	Sức căng bề mặt ở 40 ⁰ C, (mN/m)	20	21,4	22,8	24,2	34
7	Áp suất hơi bão hòa ở 25 ⁰ C, (MPa)	0,0477	0,0456	0,0432	0,0407	0,05

Để xác định được các tính chất cơ bản của nhiên liệu hỗn hợp được chọn làm đối tượng nghiên cứu, các mẫu PO10, PO20, PO30 và PO100 được phân tích tại

Trung tâm đào tạo và Tư vấn KH&CN bảo vệ môi trường thủy có trụ sở tại địa chỉ 484 Lạch Tray, Hải Phòng với phương pháp phân tích theo “Qui chuẩn kỹ thuật về xăng, nhiên liệu diesel và NLSH” (QCVN: 2015/BKH&CN) của Việt Nam với các phương pháp phân tích ASTM [25].

1.4.3. Ưu, nhược điểm của nhiên liệu hỗn hợp dầu cọ - dầu diesel khi dùng cho động cơ diesel tàu thủy so với hỗn hợp biodiesel - diesel

Gần đây, trên thế giới đã nghiên cứu chế tạo một số thiết bị chuyển đổi để động cơ diesel có thể hoạt động trực tiếp với dầu thực vật hoặc pha trộn với nhiên liệu diesel mà không cần chế biến thành biodiesel. Công nghệ này gọi là “sử dụng trực tiếp dầu thực vật” gọi tắt là SVO. Nghiên cứu một số mẫu SVO của nước ngoài cho thấy phần lớn đều không thích hợp với điều kiện sử dụng hiện nay ở Việt Nam. Chẳng hạn bộ chuyển đổi SVO ở nước ngoài chủ yếu là cho các động cơ mới sản xuất gần đây, đặc biệt là động cơ có hệ thống phun CDI (Common rail diesel injection), trong khi hầu hết tàu biển ở nước ta có đời cũ hơn.

Ở Việt Nam, đã có một số nghiên cứu đã tìm ra được giải pháp tối ưu theo SVO [18]. Bộ chuyển đổi SVO này có thể sử dụng trực tiếp dầu thực vật cho động cơ diesel cỡ nhỏ trên bờ, công suất chỉ đến 100 mã lực (HP). Còn nhóm nghiên cứu của PGS.TSKH. Đặng Văn Uy với đề tài “Nghiên cứu giải pháp công nghệ và chế tạo thử nghiệm hệ thống thiết bị chuyển đổi động cơ diesel tàu thủy cỡ vừa và nhỏ sang sử dụng hỗn hợp dầu thực vật - diesel” đã chế tạo thành công hệ thống thiết bị để sử dụng SVO cho động cơ diesel tàu thủy [20].

Đối với động cơ diesel tàu thủy hoạt động trong điều kiện đặc biệt trên biển, di chuyển đến nhiều cảng của nhiều quốc gia khi sử dụng nhiên liệu hỗn hợp DTV (dầu cọ) - dầu diesel có một số ưu, nhược điểm sau đây so với việc nếu sử dụng biodiesel dầu cọ và lý do NCS chọn dầu thực vật là dầu cọ để nghiên cứu:

1. Bản thân từ khi phát minh ra động cơ diesel, kỹ sư Rudolf Diesel đã tiến hành nghiên cứu đối với cả NLSH là dầu thực vật và dầu diesel;

2. Giải pháp SVO có những thuận lợi là không cần có nhà máy xử lý với quy mô công nghiệp như biodiesel, DTV có thể sử dụng trực tiếp. Nhiều công trình nghiên cứu trên Thế giới và Việt Nam đã chứng minh khả năng có thể sử dụng DTV để làm nhiên liệu cho động cơ diesel nói chung do các đặc tính nhiên liệu tương

đương so với nhiên liệu có nguồn gốc từ dầu mỏ.

3. Biện pháp sản xuất biodiesel hiện nay vẫn khá tốn kém và phải tuân thủ ASTM D6751. Các chuyên gia năng lượng sạch cho rằng, những khó khăn lớn nhất hiện nay trong việc sản xuất biodiesel ở trong nước là trình độ công nghệ và thiết bị còn nhiều hạn chế, công suất nhỏ (dưới 10 triệu lít/năm), tiêu hao nhiều đơn vị năng lượng trên một đơn vị sản phẩm, chỉ sử dụng nguồn nguyên liệu truyền thống khiến giá thành sản phẩm cao; hơn nữa cần sử dụng lượng lớn hóa chất như là chất xúc tác (NaOH), đây chính là nguồn gây ô nhiễm phát sinh; các công trình đã nghiên cứu cho thấy biodiesel phù hợp với động cơ cỡ vừa, nhỏ, động cơ trung - cao tốc và hoạt động trên bờ, tiêu thụ ít hoặc vừa lượng nhiên liệu;

4. Biodiesel dễ bị giảm sút chất lượng trong bảo quản, thời gian bảo quản được khuyến cáo là dưới một năm với chế độ bảo quản nghiêm ngặt, nên không phù hợp với điều kiện của tàu thủy hoạt động trên biển (DTV chỉ cần bảo quản trong điều kiện bình thường, không nhạy cảm với vi khuẩn tấn công và có hiệu suất tốt ở nhiệt độ thấp);

5. Động cơ diesel tàu thủy là động cơ cỡ lớn, tốc độ thấp, có khả năng sử dụng với loại nhiên liệu có khối lượng riêng, độ nhớt cao như dầu nặng FO và có hệ thống hâm bằng hơi để duy trì nhiệt độ, độ nhớt đảm bảo khi bơm chuyển cũng như khi cấp đến BCA để tạo áp suất cao tại VP đảm bảo chất lượng phun sương. Điều này là rất phù hợp với phương pháp SVO. Ngoài ra lượng nhiên liệu tiêu thụ phục vụ tàu thủy rất lớn, nên DTV nguyên chất có lợi thế về giá thành và sản lượng hơn rất nhiều so với biodiesel;

6. NLSH được sản xuất từ DTV và mỡ động vật, có khả năng tái sinh là tiềm năng rất lớn khi làm nhiên liệu thay thế nhiên liệu truyền thống. Trong số các loại NLSH được sử dụng cho động cơ diesel thì DTV khá phổ biến và biện pháp thường dùng là pha trộn với nhiên liệu truyền thống bằng khuấy trộn và gia nhiệt làm giảm độ nhớt và tăng trị số Cetan. Đây là một hỗn hợp cơ học giữa DTV và nhiên liệu diesel, hỗn hợp này đồng nhất và bền vững. Sử dụng NLSH dưới dạng hỗn hợp DTV và dầu diesel làm nhiên liệu thay thế cho động cơ diesel là một giải pháp cần thiết và khả thi, đã và đang được nghiên cứu phổ biến trên thế giới. Một số nghiên cứu đã sử dụng hỗn hợp dầu thực vật qua chưng cất, loại bỏ tạp chất (Biodiesel) với dầu DO cho kết quả tin cậy, tuy nhiên giá thành cao, hiệu quả kinh tế không cao.

7. Theo IMO trong Qui định 14 tại Phụ lục VI, MARPOL 73/78, ngưỡng lưu huỳnh 0,5% trong dầu nhiên liệu hàng hải toàn cầu theo quy định của IMO sẽ có hiệu lực vào ngày 01/01/2020 là mốc bắt buộc các chủ tàu phải có biện pháp áp dụng cho đội tàu đang hoạt động của mình. Nên DTV có rất ít hoặc không có thành phần lưu huỳnh sẽ có lợi thế lớn khi nghiên cứu sử dụng làm một trong những loại nhiên liệu thay thế cho nhiên liệu có nguồn gốc từ dầu mỏ trên tàu biển;

8. Do giảm thuế nhập khẩu dầu thực vật từ các nước ASEAN xuống còn 0% đã tạo điều kiện các doanh nghiệp Việt Nam nhập khẩu dầu mỡ động thực vật chủ yếu từ các nước Đông Nam Á có nguồn cung lớn là Malaysia, Indonesia và các nước khác; trong đó dầu cọ nguyên chất có sản lượng lớn, giá cả cạnh tranh so với các loại DTV khác như dầu gạo, lạc, vừng, dừa, gấc,... chủ yếu phục vụ nhu cầu ăn; Theo các nghiên cứu cho thấy là DTV chất lượng tốt là có nguồn gốc từ cây Jatropha, nhưng cây này do điều kiện thổ nhưỡng mới chỉ trồng được ở Brazil, không phù hợp với khí hậu các nước khu vực Đông Nam Á;

9. Việt Nam là một nước nông nghiệp nên có thuận lợi về nguồn sản xuất dầu thực vật làm NLSH, trong đó từ năm 2012 tập đoàn Hoàng Anh - Gia Lai đã triển khai trồng cây cọ để chiết suất dầu cọ, đến nay đã phát triển diện tích trồng lên đến hàng chục ngàn héc ta và đi vào khai thác từ năm 2015. Hơn nữa, dầu cọ rất phổ biến ở vùng Đông Nam Á và đang được sản xuất với sản lượng rất cao: Indonesia 40 triệu tấn năm và Malaysia 20 triệu tấn/năm (2019) so với các loại dầu khác [69]. Vậy đây là nơi tiềm năng để có thể cung cấp cho thị trường các nước lân cận trong đó có Việt Nam. Tại Việt Nam việc sử dụng nhiên liệu hỗn hợp dầu cọ-dầu diesel cho động cơ diesel nói chung đang trong giai đoạn thử nghiệm, do nhiên liệu hỗn hợp dầu cọ – dầu diesel có một số tính chất hóa lý không như nhiên liệu diesel [5], nên khi sử dụng cho động cơ diesel sẽ không đạt hiệu quả cao nếu giữ nguyên các thông số phun nhiên liệu như khi hệ thống được cài đặt để sử dụng nhiên liệu diesel. Để hình thành các cơ sở khoa học cho việc ứng dụng rộng rãi nhiên liệu hỗn hợp này trong nước cần tiếp tục nghiên cứu các vấn đề ảnh hưởng của đặc tính phun nhiên liệu hỗn hợp tới các chỉ tiêu công tác của động cơ.

10. Bên cạnh đó biodiesel cũng có một số ưu điểm so với dầu thực vật là chất lượng nhiên liệu tốt hơn, cung cấp nhiều năng lượng hơn do có nhiệt trị cao hơn, trị số Cetan lớn hơn, hàm lượng tạp chất ít hơn;

11. Độ nhớt DTV ở nhiệt độ thường cao hơn so với diesel khoảng vài chục lần (độ nhớt dầu cọ ở 20°C là 37 cSt lớn hơn dầu diesel khoảng 7 lần [5]), nhưng đường cong chỉ thị độ nhớt rất dốc, khi nhiệt độ tăng thì độ nhớt của dầu thực vật giảm nhanh. Do đó hệ thống hâm dầu FO có sẵn sẽ đảm bảo việc duy trì nhiệt độ và độ nhớt của DTV;

12. Theo quan điểm khai thác động cơ diesel tàu thủy thì khác nhau cơ bản giữa DTV so với nhiên liệu diesel hoặc biodiesel chính là độ nhớt và trị số Cetan. Ảnh hưởng của độ nhớt và trị số Cetan của dầu thực vật làm cho HTPNL hoạt động không bình thường, chất lượng của quá trình phun, hòa trộn và cháy kém hơn dẫn đến các chỉ tiêu kinh tế của động cơ sẽ giảm đi [9, 12, 14]. Tuy nhiên trên tàu thủy khi pha loãng DTV bằng dung môi là diesel và phụ gia thì mới đạt được số lượng lớn để cung cấp cho tàu biển lưu trữ cho những chuyến hành trình dài trên biển.

Do những ưu nhược điểm trên nên luận án quyết định chọn dầu thực vật (dầu cọ) để pha với dầu diesel tạo thành hỗn hợp làm nhiên liệu để nghiên cứu.

1.4.4. Những qui định tại Việt Nam về phát triển NLSH

Ngày 20/11/2007, Thủ tướng Chính phủ đã ký Quyết định số 177/2007/QĐ-TTg phê duyệt “Đề án phát triển NLSH đến năm 2015, tầm nhìn đến năm 2025” [1];

Quốc hội Việt Nam đã phê chuẩn Luật số: 50/2010/QH12 về “Sử dụng năng lượng tiết kiệm và hiệu quả” vào ngày 17/6/2010, trong đó Chương IV quy định riêng cho ngành Giao thông vận tải [4];

Ngày 2/10/2012, Thủ tướng Chính phủ đã ký Quyết định số 1427/QĐ-TTg phê duyệt “Chương trình mục tiêu quốc gia về sử dụng năng lượng tiết kiệm và hiệu quả giai đoạn 2012 – 2015” [3];

Ngày 22/11/2012, Thủ tướng Chính phủ ký Quyết định số 53/2012/QĐ-TTg về việc “Ban hành lộ trình áp dụng tỉ lệ phối trộn NLSH với nhiên liệu truyền thống” [2].

Chính phủ đã đặt mục tiêu dùng biodiesel thay thế 5% dầu diesel từ năm 2016 đến năm 2025 mới chỉ cho các phương tiện cơ giới đường bộ [1]. Việc sử dụng nhiên liệu hỗn hợp dầu thực vật - diesel cho động cơ diesel nói chung đang trong giai đoạn thử nghiệm, còn các loại động cơ diesel trên tàu biển còn trong giai đoạn nghiên cứu.

1.5. Tổng quan về các công trình khoa học trong và ngoài nước liên quan luận án

1.5.1. Các nghiên cứu trên thế giới

Trên thế giới hiện nay, khoảng 30 loại dầu thực vật được chiết xuất từ hạt cải, hạt hướng dương, đậu tương, cọ, dừa,... đã được sử dụng trực tiếp cho các động cơ diesel mà không cần pha phụ gia hoặc xử lý este hoá thành Biodiesel [39,66]. Những nghiên cứu thử nghiệm đã chứng tỏ rằng các động cơ diesel có thể hoạt động được với SVO, nhưng còn một số vấn đề phát sinh chủ yếu ở bộ phận phun nhiên liệu, xéc măng và sự ổn định của dầu bôi trơn. Công ty Elsbett của Đức hiện đang sản xuất động cơ diesel ô tô sử dụng trực tiếp dầu thực vật SVO [59].

Công trình nghiên cứu của Ayhan Demirbas [26] và các cộng sự đã góp phần nghiên cứu sử dụng NLSH làm nhiên liệu thay thế cho động cơ diesel. Công trình đã nghiên cứu các vấn đề tổng quan về NLSH như: các nguồn nguyên liệu sản xuất NLSH (từ dầu thực vật và mỡ động vật); sự thay đổi đặc tính của NLSH theo nguồn nguyên liệu đầu vào. Tuy nhiên, công trình này mới dừng ở mức phân tích tổng quan, hoàn toàn là nghiên cứu lý thuyết.

S.Bari và cộng sự (2004) [57], sử dụng dầu ăn phế thải (Waste Cooking Oil - WCO) làm nhiên liệu cho động cơ diesel chạy máy phát điện. Khi thay đổi thời điểm phun nhiên liệu WCO so với nhiên liệu DO ở 15° trước ĐCT. Kết quả, tăng thời điểm phun nhiên liệu WCO lên 4° so với nhiên liệu DO, các chỉ tiêu kinh tế và môi trường được cải thiện.

Nghiên cứu của tác giả Herchel Thaddeus và cộng sự (2001) [40], khi khảo sát ảnh hưởng của dầu cọ nguyên gốc và hỗn hợp dầu cọ - diesel đến các chỉ tiêu công tác của động cơ 1 xy lanh theo đặc tính tải, nhưng không thay đổi thông số phun. Kết quả cho thấy, phát thải bồ hóng của dầu cọ nguyên gốc và hỗn hợp dầu cọ - diesel có giảm so với dầu diesel nhưng suất tiêu hao nhiên liệu tăng lên. Mặc dù động cơ hoàn toàn có thể sử dụng hỗn hợp nhiên liệu dầu cọ - diesel, nhưng nghiên cứu của Herchel đã không chỉ rõ ở tỉ lệ pha trộn nào là phù hợp với các chỉ tiêu công tác của động cơ, cũng như những giải pháp cho việc sử dụng dầu cọ.

Tác giả Kalam M.A (2003) [48], đại học Malaya, Malaysia, nghiên cứu khi sử dụng dầu cọ trên động cơ diesel chạy máy phát điện đã chỉ ra rằng, dầu cọ có thành

phần ô xy cao, tỉ lệ C/H thấp là các yếu tố khiến giảm lượng hình thành bồ hóng. Tuy nhiên, quá trình hình thành hỗn hợp cháy kém hơn so với nhiên liệu DO khiến công suất động cơ giảm.

Nghiên cứu của C. Venkataramana Reddy và cộng sự (2010) [32], sử dụng hỗn hợp dầu Honge (dầu cây sồi Ấn Độ) và dầu diesel ở tỉ lệ 20% dầu Honge và 80% dầu diesel (H20) chạy cho động cơ diesel. Kết quả cho thấy, hiệu suất có ích tăng lên và phát thải bồ hóng giảm xuống khi tăng áp suất phun lên 225 bar so với mẫu diesel không pha trộn ở 200 bar và khả năng có thể tăng tỉ lệ lên H30 nếu xác định được thời điểm phun hợp lý ở áp suất phun 225 bar.

Tác giả SiddalingappaR (2011) [61], nghiên cứu sử dụng hỗn hợp dầu Karanja (dầu đậu-dầu diesel) ở các tỉ lệ K10, K15, K20 trên động cơ diesel 1 xy lanh khi tiến hành điều chỉnh thời điểm phun, kết quả ở tỉ lệ K15 là phù hợp nhất. Tuy nhiên, thời điểm phun tăng lên 5 độ mới đạt được hiệu suất nhiệt tương đương với nhiên liệu DO.

Purushothamana K và cộng sự (2009) [54], nghiên cứu quá trình cháy và phát thải khí xả của động cơ diesel khi sử dụng hỗn hợp nhiên liệu dầu diesel pha lẫn tinh dầu cam (Orange Skin Powder-OSP) ở các áp suất phun: 215 bar, 235bar và 255 bar. Kết quả cho thấy, với 30% OSP thì áp suất trong xy lanh và hiệu suất nhiệt cao hơn so với nhiên liệu diesel, các phát thải CO, HC và bồ hóng đều giảm ở áp suất phun nhiên liệu 235 bar.

Năm 2010, các tác giả B.Rajendra Prasath, P.Tamilporai và Mohd. F. Shabir [28], đã nghiên cứu xây dựng mô hình lý thuyết và nghiên cứu thực nghiệm về quá trình cháy và các chỉ tiêu kinh tế, năng lượng của động cơ diesel (công suất 55 kW tại $n=1500$ vg/ph, tỉ số nén 16:1, phun nhiên liệu trực tiếp, có tăng áp tuabin khí xả) khi sử dụng PO20 được chiết xuất từ hạt cây jatropha. Nghiên cứu đã đưa ra được các kết quả mô phỏng và thực nghiệm về diễn biến nhiệt độ và áp suất trong xy lanh. Tuy nhiên, nhóm tác giả chưa đánh giá đầy đủ được ảnh hưởng của sự thay đổi các đặc tính của PO20 đến quá trình hình thành và phát triển tia phun của nhiên liệu hỗn hợp.

S. Naga Sarada và cộng sự (2010) [58], nghiên cứu xác định áp suất phun tối ưu

cho động cơ diesel khi sử dụng dầu bông làm nhiên liệu. Trong đó, áp suất phun được điều chỉnh từ $180 \div 240$ bar. Kết quả cho thấy: áp suất phun 210 bar là phù hợp, động cơ làm việc ổn định, HC giảm từ 172 ppm còn 148 ppm, hiệu suất có ích tăng từ 25,02% đến 28,02% và ứng với nhiên liệu DO ở áp suất phun định mức 180 bar.

Tác giả Sapit Azwan và cộng sự (2011) [27], nghiên cứu ảnh hưởng của độ nhớt dầu thực vật nguyên gốc đến quá trình phun. Kết quả nghiên cứu cho thấy, độ nhớt động học cao của nhiên liệu làm hành trình nâng kim phun không hoàn toàn và có sự lắng Cacbon đầu vòi phun, dẫn đến hình thành hỗn hợp cháy kém hiệu quả. Do đó, Sapit Azwan khuyến cáo cần cải thiện áp suất phun để khắc phục nhược điểm trên.

Các dẫn chứng ở trên cho thấy, một số công trình nghiên cứu trên không can thiệp đến hệ thống phun nhiên liệu, mà chỉ dừng lại ở việc xác định sự tương thích của dầu thực vật dùng làm nhiên liệu cho động cơ diesel. Do đó, chưa chỉ ra được ảnh hưởng của đặc tính nhiên liệu đến quá trình hình thành hỗn hợp cháy và phát thải của động cơ diesel khi sử dụng dầu thực vật làm nhiên liệu thay thế. Còn một số công trình đã xác định sự thay đổi thành phần khí thải và công suất động cơ khi thay đổi một trong ba yếu tố: áp suất phun, thời điểm phun và tỉ lệ pha trộn, nhưng không chỉ ra được ảnh hưởng của tính chất nhiên liệu hỗn hợp dầu thực vật - diesel đến cấu trúc tia phun, những thông số cơ bản của tia phun nhiên liệu hỗn hợp so với dầu diesel để có cơ sở cho việc điều chỉnh hệ thống nhiên liệu động cơ diesel phù hợp khi chuyển sang sử dụng hỗn hợp nhiên liệu dầu thực vật - diesel. Đặc biệt, các nghiên cứu liên quan trực tiếp đến động cơ diesel tàu thủy thì rất ít có các công bố nghiên cứu.

1.5.2. Các nghiên cứu tại Việt Nam

Công trình nghiên cứu của PGS.TS. Nguyễn Thạch (2009) [18], Trường Đại học Bách khoa Thành phố Hồ Chí Minh nghiên cứu thiết kế, chế tạo cụm thiết bị chuyển đổi sử dụng trực tiếp dầu thực vật (SVO) làm nhiên liệu cho động cơ diesel, đề tài độc lập cấp nhà nước đã cho những kết quả tốt. Tuy nhiên, giải pháp này chỉ phù hợp với trạm diesel - máy phát điện có công suất vừa và nhỏ mà chưa áp dụng cho động cơ diesel cỡ vừa và lớn hoạt động trong điều kiện phức tạp như tàu biển.

Đề tài KHCN&PTCN cấp Nhà nước "Nghiên cứu sử dụng nhiên liệu diesel sinh học (B10 và B20) cho phương tiện cơ giới quân sự", mã số ĐT.06.12/NLSH, thuộc Đề án phát triển nhiên liệu sinh học đến năm 2015, tầm nhìn đến năm 2025 của tác giả Nguyễn Hoàng Vũ [21], Học viện Kỹ thuật quân sự đã nghiên cứu độ tương thích và khả năng sử dụng diesel sinh học B10 và B20 cho phương tiện cơ giới nhằm chủ động nguồn nhiên liệu và giảm phát thải các chất ô nhiễm.

Năm 2009, Viện Hóa học công nghiệp Việt Nam, đã thực hiện đề tài độc lập cấp Nhà nước "Đánh giá hiện trạng công nghệ sản xuất và thử nghiệm hiện trường NLSH từ mỡ cá nhằm góp phần xây dựng tiêu chuẩn Việt Nam về NLSH" [10]. Đề tài có cách tiếp cận khá bài bản khi nghiên cứu tính tương thích của B5 với động cơ diesel. Tuy nhiên, do tập trung nhiều vào công tác thử nghiệm hiện trường nên đề tài này chưa đánh giá được một cách chi tiết tác động của B5 đến quá trình phun nhiên liệu, tạo hỗn hợp, cháy và hình thành các chất ô nhiễm.

Luận án TSKT của tác giả Nguyễn Đức Minh [13], tập trung nghiên cứu thử nghiệm loại hỗn hợp nhiên liệu thay thế trên động cơ diesel có kết cấu buồng cháy khác nhau (AD3.152 và 4C90) để đánh giá ảnh hưởng của dầu đậu tương đến các thông số công tác, mức phát thải của chúng. Phần nghiên cứu lý thuyết, tác giả không nghiên cứu tính toán chu trình công tác (CTCT) mà chỉ dừng lại ở việc đánh giá, phân tích sơ bộ, định tính ảnh hưởng của diesel sinh học đến diễn biến chu trình công tác của động cơ diesel; các phương pháp xử lý dầu thực vật và một số yếu tố tác động... mà hoàn toàn chưa đề cập đến ảnh hưởng của đặc tính NLSH đến diễn biến quá trình tạo hỗn hợp cháy, quá trình hình thành các chất ô nhiễm trong động cơ.

Tác giả Phùng Minh Lộc, [11] đã nghiên cứu ảnh hưởng của tỉ lệ pha dầu dừa vào dầu DO đến các chỉ tiêu kinh tế và môi trường trên động cơ diesel công suất nhỏ lắp trên tàu cá. Đề tài này nghiên cứu gia nhiệt giảm độ nhớt của dầu dừa tương đương dầu DO và pha phụ gia dùng trực tiếp cho động cơ nhằm cải thiện chất lượng quá trình cháy. Tuy nhiên chưa có đánh giá chi tiết về ảnh hưởng của loại nhiên liệu này tới các chi tiết chính trong HTPNL của động cơ, đặc biệt là sự làm việc của VP.

Trong đề tài tiến sĩ của tác giả Trần Thế Nam, [15] tập trung xây dựng được

cơ sở khoa học tính toán thiết kế thiết bị hòa trộn liên tục phù hợp cho từng động cơ diesel tàu thủy cỡ vừa và nhỏ, đánh giá chất lượng hòa trộn nhiên liệu của thiết bị hòa trộn bằng mô phỏng số và chế tạo mô hình thử nghiệm theo phương pháp đồng dạng trong PTN. Nghiên cứu thực nghiệm tập trung đánh giá về thiết bị hòa trộn liên tục thiết kế riêng cho động cơ 6LU32. Chưa đưa ra phương pháp hiệu chỉnh đối với HTPNL của động cơ khi sử dụng nhiên liệu hỗn hợp.

Tác giả Mai Đức Nghĩa, [16] với luận án “Nghiên cứu ảnh hưởng của thông số phun hỗn hợp nhiên liệu dầu diesel – dầu dừa đến các chỉ tiêu kinh tế và môi trường của động cơ diesel cao tốc” chỉ chọn loại hỗn hợp B15 có phụ gia làm tăng trị số Cetan nghiên cứu cho động cơ diesel cao tốc cỡ nhỏ và thay đổi GPS để tối ưu chỉ tiêu kinh tế và môi trường.

Đề tài NCKH & PTCN cấp Quốc gia "Nghiên cứu giải pháp công nghệ và chế tạo thử nghiệm thiết bị chuyển đổi động cơ diesel tàu thủy cỡ vừa và nhỏ sang sử dụng hỗn hợp dầu thực vật - diesel" mã số: ĐT.04.11/NLSH (thuộc Đề án phát triển NLSH đến năm 2015, tầm nhìn đến năm 2025 của Chính phủ), [20], tác giả Đặng Văn Uy và cộng sự đã nghiên cứu khả năng sử dụng hỗn hợp dầu thực vật – dầu diesel cho động cơ tàu thủy và kết quả đạt được:

- Lựa chọn được giải pháp công nghệ chuyển đổi động cơ diesel sang sử dụng nhiên liệu hỗn hợp dầu thực vật – dầu diesel;
- Xây dựng được quy trình công nghệ chế tạo thiết bị phù hợp với điều kiện kỹ thuật của Việt Nam;
- Đề xuất được công nghệ chế tạo thiết bị lần đầu tiên, có tính khả thi phù hợp với điều kiện công nghệ của Việt Nam, đạt trình độ tiên tiến.

Ngoài ra một số công trình nghiên cứu sử dụng nhiên liệu biodiesel cho động cơ, trong đó, tác giả Phan Đức Yên (2015), Học viện Kỹ thuật Quân sự, đánh giá ảnh hưởng của nhiên liệu biodiesel B10, B20 đến các chỉ tiêu kinh tế và môi trường trên động cơ diesel. Tuy nhiên, nghiên cứu chỉ tập trung việc lựa chọn loại nhiên liệu biodiesel có nguồn gốc và mức độ pha trộn 10%, 20% và điều chỉnh qui luật cung cấp nhiên liệu (QLCCNL) để đạt các chỉ tiêu kinh tế, năng lượng và môi trường trong khai thác sử dụng động cơ diesel cơ giới quân sự.

Nghiên cứu của tác giả Phan Văn Quân (2015) [17], Trường Đại học Giao thông Vận tải Thành phố Hồ Chí Minh, ứng dụng biodiesel từ dầu mỡ cá da trơn trên phương tiện thủy nội địa lắp động cơ diesel nhằm cải thiện các chỉ tiêu kinh tế và môi trường. Nghiên cứu chỉ tập trung vào đánh giá ảnh hưởng của nhiên liệu biodiesel ở các tỉ lệ pha trộn so với nhiên liệu DO khi sử dụng cho động cơ.

Các công trình trên đã tập trung nghiên cứu về tính chất lý hóa của dầu thực vật, đã xác định loại dung môi và tỉ lệ pha trộn hợp lý, lựa chọn phương án cấp nhiên liệu vào động cơ phù hợp để không ảnh hưởng đến HTNL. Tuy nhiên, do tính chất lý hóa của dầu thực vật có khác so với dầu diesel, nên hỗn hợp tạo thành sẽ ảnh hưởng lớn đến quá trình phun, tạo hỗn hợp, cháy kém hiệu quả, có thể làm một số chỉ tiêu công tác của động cơ giảm xuống. Do đó, cần làm rõ một số yếu tố cơ bản liên quan đến hỗn hợp dầu thực vật - diesel và HTPNL để có biện pháp hiệu chỉnh phù hợp đảm bảo cho động cơ diesel có thể hoạt động bình thường đạt chỉ tiêu kinh tế và môi trường. Đặc biệt đối với các phương tiện vận tải thủy là tàu biển thì nghiên cứu rất hạn chế.

1.6. Những thông số cơ bản ảnh hưởng đến chất lượng quá trình phun tạo hỗn hợp-cháy của hỗn hợp dầu thực vật – dầu diesel trong động cơ diesel tàu thủy

Từ những phân tích các nghiên cứu về dầu thực vật, hỗn hợp dầu thực vật - diesel dùng làm nhiên liệu cho động cơ diesel và một số nghiên cứu khác theo [68, 71] đã cho thấy, tính chất nhiên liệu có ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng quá trình phun, thời điểm phun, hình thành hỗn hợp - cháy và do đó ảnh hưởng đến các chỉ tiêu kinh tế, môi trường của động cơ diesel. Luận án nhận thấy một số thông số chính của hỗn hợp nhiên liệu dầu thực vật - diesel có gây ảnh hưởng là:

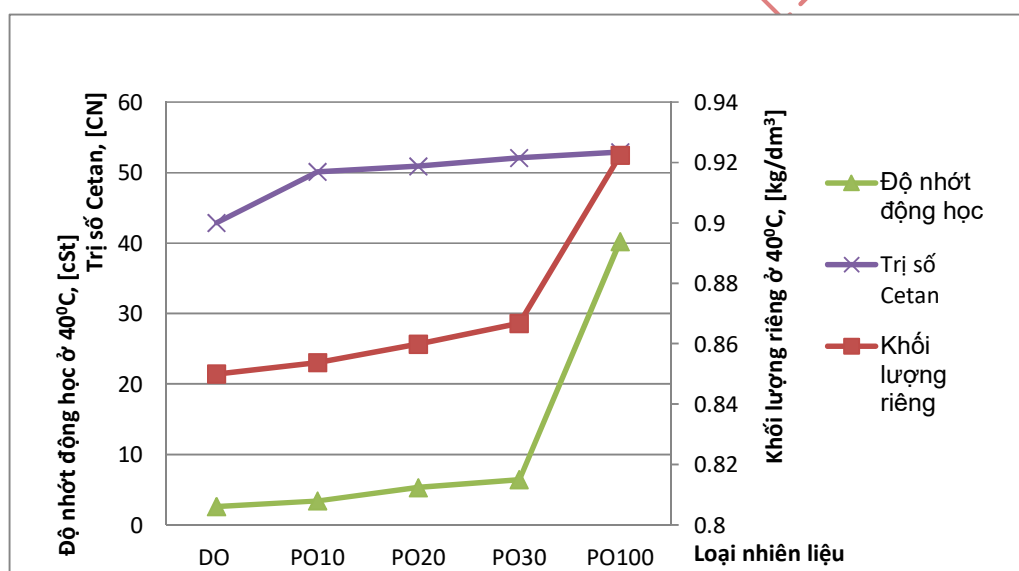
- Độ nhớt và sức căng bề mặt;
- Nhiệt độ và khối lượng riêng của nhiên liệu hỗn hợp;
- Trị số Cetan.

Những yếu tố trên có ảnh hưởng đến cấu trúc tia phun gồm chiều dài tia phun (S), chiều dài phân rã sơ cấp tia phun (L_b), góc nón tia phun (θ_s), đường kính trung bình hạt nhiên liệu ($SMD-D_o$). Trung bình dầu thực vật chứa thành phần Cacbon ít hơn 10 ÷ 12%, Hydro ít hơn 5 ÷ 13%, còn lượng ô xy lớn hơn rất nhiều từ 9 ÷ 11%,

khối lượng riêng của dầu thực vật cũng lớn hơn khoảng $9 \div 15\%$ và độ nhớt lớn hơn khoảng $10 \div 30\%$ so với dầu diesel [5, 39].

Hỗn hợp dầu thực vật - diesel cần gia nhiệt đến khoảng 40°C để giảm độ nhớt; nhiệt độ và sức căng bề mặt là một trong số các nguyên nhân khiến chiều dài tia phun hỗn hợp nhiên liệu thay đổi so với khi dùng DO. Một số nghiên cứu thực nghiệm đã cho thấy, nhiệt độ nhiên liệu càng lớn càng làm giảm độ xâm nhập của tia phun trong không gian buồng cháy, do đó cần tăng GPS, tăng áp suất phun để quá trình phun và hình thành hỗn hợp cháy diễn ra tương đương với nhiên liệu DO.

Từ Bảng 1.5 có thể biểu diễn mối quan hệ giữa ba thông số: độ nhớt động học, trị số Cetan, khối lượng riêng của hỗn hợp dầu cọ - diesel theo biểu đồ sau:



Hình 1.6. Quan hệ giữa các thông số của hỗn hợp dầu cọ-diesel theo tỉ lệ % dầu cọ

Khi pha trộn dầu cọ nguyên gốc vào dầu diesel ở tỉ lệ thấp, mức chênh lệch về các thông số nhiệt động không đáng kể so với dầu diesel. Khi tăng tỉ lệ này lên 10%, 20% và 30% sẽ có sự thay đổi rõ rệt (Hình 1.6). Vì thế để cấu trúc tia phun hỗn hợp nhiên liệu dầu cọ - diesel và quá trình phun, cùng với sự tạo hỗn hợp, cháy của nhiên liệu này tương đương với nhiên liệu diesel, thì việc chọn tỉ lệ hòa trộn cao hợp lý, điều chỉnh áp suất phun và GPS của hệ thống nhiên liệu động cơ có ảnh hưởng trực tiếp đến các yếu tố nêu trên. Trên cơ sở phân tích đã được trình bày,

lược án xác định các nội dung cần thực hiện với mục tiêu cụ thể như sau (Bảng 1.6).

Bảng 1.6. Nội dung nghiên cứu và mục tiêu cần đạt được

TT	Nội dung nghiên cứu	Mục tiêu cần đạt được
1.	Chương 2: Nghiên cứu lý thuyết ảnh hưởng của đặc tính nhiên liệu hỗn hợp dầu thực vật - diesel đến chất lượng phun nhiên liệu: đặc tính phun; thời điểm bắt đầu phun và thời gian cháy trễ nhiên liệu đến chỉ tiêu kinh tế và môi trường của động cơ diesel tàu thủy. Cơ sở lý thuyết phương pháp qui hoạch thực nghiệm khi đề xuất giải pháp hiệu chỉnh thích hợp HTNL sử dụng hỗn hợp dầu thực vật - diesel.	Xác định được các công thức thực nghiệm và phương trình toán học biểu thị sự ảnh hưởng của đặc tính nhiên liệu hỗn hợp đến thời điểm bắt đầu phun và thời gian cháy trễ nhiên liệu; đến đặc tính phun làm thay đổi chỉ tiêu kinh tế và môi trường. Lựa chọn mô hình mô phỏng quá trình phun và hòa trộn – cháy trong động cơ diesel Xây dựng được hàm mục tiêu gồm 3 biến: áp suất phun, GPS và tỉ lệ % dầu cò trong hỗn hợp tính trên các điểm khảo sát nghiên cứu.
2.	Chương 3: Nghiên cứu lý thuyết xác định ảnh hưởng của đặc tính hỗn hợp nhiên liệu dầu cò - diesel đến đặc tính tia phun. Xây dựng mô hình mô phỏng phun nhiên liệu, hòa trộn - cháy trong động cơ diesel tàu thủy bằng lý thuyết CFD với phần mềm Ansys Fluent.	Đưa vào các công thức thực nghiệm đã tính toán được các kết quả thể hiện ảnh hưởng của đặc tính nhiên liệu hỗn hợp đến thông số phun; đến thời điểm bắt đầu phun và thời gian cháy trễ nhiên liệu; lưu lượng phun. Giới hạn về các trường thông số của đồ thị Ansys Fluent xuất ra về định tính và định lượng. Với các thông số này, có thể rút ra được những đánh giá khá chi tiết về ảnh hưởng của đặc tính nhiên liệu hỗn hợp đến chất lượng phun của vòi phun HTNL động cơ diesel tàu thủy.
3.	Chương 4: Nghiên cứu thực nghiệm xác định ảnh hưởng của đặc tính nhiên liệu hỗn hợp đến các thông số: áp suất cháy; thời điểm phun; thời gian cháy trễ; lưu lượng phun; sự hòa trộn và cháy; tính kinh tế và môi trường.	Xây dựng quy trình và tổ chức thực nghiệm trên động cơ diesel chính tàu thủy Hanshin 6LU32 sử dụng 4 loại nhiên liệu DO, PO10, PO20 và PO30; kiểm chứng kết quả thực nghiệm so với mô phỏng và với các công thức thực nghiệm. Kết quả hiệu chỉnh HTNL cho động cơ 6LU32 bằng phương pháp qui hoạch thực nghiệm xác định áp suất phun, GPS và tỉ lệ % dầu cò trong hỗn hợp để động cơ hoạt động ổn định đạt chỉ tiêu kinh tế và môi trường mong muốn.

1.7. Kết luận chương 1

Trên cơ sở nghiên cứu tổng quan các vấn đề liên quan trực tiếp đến hướng nghiên cứu của luận án, nội dung Chương 1 đã làm rõ một số vấn đề như sau:

- Đã trình bày HTNL cho động cơ diesel tàu thủy và xu hướng phát triển, những giải pháp khai thác vận hành giúp nâng cao chỉ tiêu kinh tế và môi trường cho động cơ diesel tàu thủy;

- NLSH và xu hướng ứng dụng cho động cơ diesel tàu thủy; từ những ưu, nhược điểm của hỗn hợp nhiên liệu dầu thực vật - diesel khi dùng cho động cơ diesel tàu thủy so với hỗn hợp nhiên liệu biodiesel - diesel mà luận án vẫn chọn nghiên cứu hỗn hợp nhiên liệu dầu thực vật – diesel ứng dụng cho động cơ diesel tàu thủy do các ưu điểm riêng mà NCS đã đánh giá qua các tài liệu nghiên cứu;

- Trình bày tóm tắt những qui định pháp lý Quốc tế về giới hạn phát thải khí độc hại NO_x từ động cơ diesel thủy phục vụ cho hàm mục tiêu trong đề xuất giải pháp hiệu chỉnh;

- Phân tích, đánh giá kết quả đạt được của các công trình nghiên cứu trong nước và quốc tế về sử dụng dầu thực vật cho động cơ; trình bày sự khác biệt về tính chất lý hóa của dầu thực vật là dầu cọ và đối tượng nghiên cứu là hỗn hợp nhiên liệu dầu cọ - diesel so với dầu diesel;

- Những thông số cơ bản ảnh hưởng đến chất lượng quá trình phun tạo hỗn hợp-cháy nhiên liệu hỗn hợp dầu cọ – diesel trong động cơ diesel tàu thủy;

Trên cơ sở này đã làm rõ được từng nội dung nghiên cứu với các mục tiêu cụ thể như trình bày trong Bảng 1.6 với mục tiêu của luận án là: “Nghiên cứu ảnh hưởng của nhiên liệu hỗn hợp dầu cọ nguyên chất - dầu diesel theo các tỉ lệ phần trăm khác nhau (làm nhiên liệu thay thế) đến phun nhiên liệu, tạo hỗn hợp, cháy và tính năng của động cơ diesel tàu thủy 6LU32” là nhằm tìm ra những tác động tiêu cực và tích cực của nhiên liệu hỗn hợp đến HTPNL được đặc trưng bằng đặc tính phun, lưu lượng, thời điểm, GPS, áp suất và chất lượng phun nhiên liệu vào buồng đốt động cơ diesel tàu thủy.

CHƯƠNG 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT ĐÁNH GIÁ QUÁ TRÌNH PHUN NHIÊN LIỆU ĐỐI VỚI ĐỘNG CƠ DIESEL TÀU THỦY VÀ GIẢI PHÁP HIỆU CHỈNH NHẪM ĐẠT CHỈ TIÊU MÔI TRƯỜNG, KINH TẾ

Đối với HTPNL, các thông số áp suất phun và góc phun sớm là các thông số quan trọng quyết định đến sự hoạt động ổn định của động cơ diesel. Phun nhiên liệu vào buồng đốt động cơ một cách tối ưu sẽ giúp quá trình hòa trộn-cháy xảy ra hoàn thiện và làm cho hiệu suất của động cơ diesel đạt giá trị cao nhất. Trên thực tế, HTPNL của động cơ diesel thường được thiết kế tối ưu đối với mỗi loại nhiên liệu đã được lựa chọn, kể từ bơm cao áp, đường ống cao áp đến vòi phun và đặc biệt là cấu tạo của các lỗ phun [19, 43].

Trên cơ sở các nghiên cứu về nhiên liệu truyền thống cũng như NLSH, KannanK (2010) [44], USV. Prasad (2012) [63] và một số công trình khác [36, 46, 56] đã công bố, các thông số áp suất phun và góc phun sớm ảnh hưởng trực tiếp đến quá trình phun, hình thành hỗn hợp-cháy, dẫn đến làm thay đổi các chỉ tiêu kinh tế và môi trường của động cơ diesel.

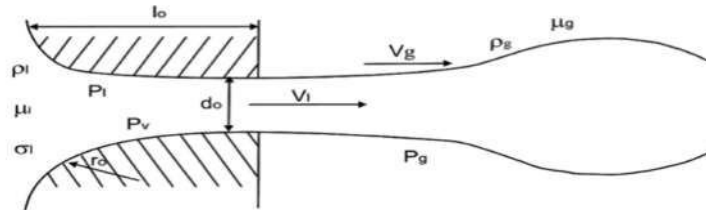
Vì vậy, khi thay loại nhiên liệu mới đối với một HTPNL đã có sẵn sẽ ảnh hưởng đến đặc tính phun nhiên liệu và cuối cùng là ảnh hưởng đến các chỉ tiêu nêu trên. Trên cơ sở các kết quả nghiên cứu, sẽ đề xuất được cơ sở lý thuyết các giải pháp hiệu chỉnh thích hợp đối với HTPNL khi muốn chuyển đổi động cơ diesel tàu thủy có sẵn sang sử dụng nhiên liệu mới, nhiên liệu hỗn hợp dầu thực vật-diesel.

Với mục đích như vậy, trong Chương 2 sẽ nghiên cứu cụ thể cơ sở lý thuyết nhằm đánh giá ảnh hưởng của đặc tính hỗn hợp nhiên liệu dầu thực vật - diesel đến đặc tính phun nhiên liệu và các thông số công tác của quá trình phun nhiên liệu vào động cơ diesel tàu thủy thông qua các quan hệ thể hiện bằng các công thức toán học. Bên cạnh đó, cũng trình bày cơ sở lý thuyết mô phỏng quá trình phun, tạo hỗn hợp, cháy nhiên liệu trong buồng đốt động cơ khi sử dụng nhiên liệu hỗn hợp có tỉ lệ phần trăm dầu thực vật khác nhau để thực hiện mô phỏng với các điều kiện biên sát thực tế; cơ sở lý thuyết phương pháp qui hoạch thực nghiệm để xác định được các thông số hiệu chỉnh chính của HTPNL là GPS và áp suất phun phù hợp, đồng thời xác định tỉ lệ % dầu thực vật trong hỗn hợp với nhiên liệu diesel để động cơ diesel tàu thủy hoạt động ổn định đạt chỉ tiêu kinh tế và môi trường.

2.1. Các đặc tính phun nhiên liệu

Đặc tính phun nhiên liệu được thể hiện qua các thông số hình học của chùm tia phun. Các thông số hình học của chùm tia phun nhiên liệu lỏng phụ thuộc vào một số tính chất của nhiên liệu mà chủ yếu là khối lượng riêng, độ nhớt và sức căng bề mặt của nhiên liệu. Các đặc tính phun nhiên liệu bao gồm: đặc tính vĩ mô (chiều dài phân rã sơ cấp, góc nón tia phun, chiều dài tia phun) và đặc tính vi mô (đường kính trung bình hạt nhiên liệu Sauters).

Chất lượng phun nhiên liệu vào buồng đốt của động cơ diesel nói chung phụ thuộc rất nhiều vào cấu tạo của vòi phun, trong đó đặc biệt là kích thước và góc nghiêng của lỗ phun. Tùy thuộc vào đặc tính lý hóa của nhiên liệu được sử dụng, hình dạng của đầu vòi phun, không gian chứa nhiên liệu và kích thước của lỗ phun sẽ được thiết kế phù hợp. Để có thể nghiên cứu quá trình phun nhiên liệu vào buồng đốt động cơ, mô hình thể hiện nhiên liệu được phun vào buồng đốt động cơ diesel qua các lỗ phun sẽ được mô phỏng khi công chất lưu thông trong khe hở hẹp như được thể hiện trên Hình 2.1 [62].



Hình 2.1. Mô hình phun nhiên liệu với các biến số công tác

Áp dụng mô hình chất lỏng của Newton với sự phân bố không đổi của nhiệt độ và với lỗ phun hình tròn, thì các biến số có ảnh hưởng đến quá trình khuếch tán của tia phun bao gồm:

Các biến số liên quan đến dạng hình học của vòi phun bao gồm: đường kính lỗ phun d_o , chiều dài lỗ phun l_o , bán kính cung lượn của cửa vào lỗ phun r_o ;

Các biến số liên quan đến điều kiện phun bao gồm: áp suất phun p_l , áp suất khí công tác p_g , sự chênh lệch áp suất $\Delta p = p_l - p_g$, vận tốc của chất lỏng được phun V_l , vận tốc của chất khí công tác V_g và thời gian phun t_{inj} ;

Các biến số liên quan đến đặc tính của chất lỏng được phun bao gồm: khối lượng riêng ρ_l , độ nhớt động học μ_l , áp suất hơi p_v , sức căng bề mặt σ ;

Các biến số liên quan đến đặc tính của chất khí công tác bao gồm: khối lượng riêng ρ_g và độ nhớt động học μ_g .

hình thực nghiệm áp dụng cho các tia phun nhiên liệu dạng xung; sau đó mô hình này được đánh giá lại bởi Hay & Jones. Cuối cùng, họ cũng đưa ra được mô hình tính toán chiều dài tia phun nhiên liệu như sau [35]:

$$S(t) = 3,07 \left(\frac{\Delta p}{\rho_g} \right)^{1/4} \left(\frac{294}{T_k} \right)^{1/4} \sqrt{d_o t}, \text{ (mm)} \quad (2.1)$$

Năm 1990, hai nhà khoa học Nhật Bản Hiroyasu & Arai đề xuất hai biểu thức để xác định chiều dài tia phun nhiên liệu theo hàm của thời gian làm đứt đoạn t_{rot} và cũng cho rằng thời gian làm đứt đoạn có giá trị trong khoảng từ 0,3ms đến 1ms phụ thuộc vào điều kiện phun. Thời gian làm đứt đoạn hay thời gian phân tách chính là khoảng thời gian kể từ khi nhiên liệu bắt đầu ra khỏi lỗ phun đến thời điểm tia nhiên liệu lỏng bị phá vỡ thành các hạt nhỏ (Hình 2.2). Thời gian làm đứt đoạn (thời gian đứt đoạn) t_{rot} được xác định bằng công thức sau [41]:

$$t_{rot} = 28,65 \frac{\rho_l d_o}{\sqrt{\rho_g \Delta p}}, \text{ (ms)} \quad (2.2)$$

Chiều dài tia phun nhiên liệu có thể được xác định như sau [41]:

$$S = 0,39 \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_l}} t \quad \text{với } t = t_{rot} \quad (2.3)$$

, (mm)

Trong đó: S -chiều dài tia phun (mức độ xâm nhập của tia phun) (mm); Δp -sự chênh áp suất giữa áp suất phun và áp suất không khí nén trong xi lanh (bar); ρ_l -khối lượng riêng của nhiên liệu (kg/m^3); ρ_g -khối lượng riêng của không khí nén (kg/m^3); d_o -đường kính lỗ phun nhiên liệu (mm); t_{rot} -thời gian kể từ khi nhiên liệu bắt đầu ra khỏi lỗ phun đến khi những hạt nhiên liệu tách ra tạo thành tia phun (ms).

Năm 2000, Jimenes và cộng sự phát triển công thức thực nghiệm sử dụng thông số không thứ nguyên $\rho^* = (\rho_g/\rho_l)$ ở nhiệt độ của môi trường nhiên liệu được phun trong khoảng $293^0\text{K} \div 423^0\text{K}$ để tính chiều dài tia phun nhiên liệu như sau [35]:

$$S(t) = 0,6^{-3} U_0(t)^{0,9} \left(\frac{p_g}{\rho_l} \right)^{-0,163}, \text{ (mm)} \quad (2.4)$$

Trên cơ sở các nghiên cứu của nhiều nhà nghiên cứu khác nhau ở các giai đoạn khác nhau, có thể cho thấy chiều dài tia phun nhiên liệu tại điều kiện bên trong buồng đốt của động cơ diesel phụ thuộc vào các yếu tố sau [37, 62, 64]:

- Sự chênh lệch áp suất phun Δp : nếu mức tăng này càng lớn so với áp suất trong thể tích công tác của buồng đốt, thì sẽ làm tăng được vận tốc xâm nhập của tia phun nhiên liệu và do vậy khả năng xâm nhập của tia phun sẽ dễ dàng hơn ngay tại giai đoạn bắt đầu phun;

- Tỷ số của khối lượng riêng ρ^* : tỉ số này tác động rất mạnh đến khả năng xâm nhập của tia phun nhiên liệu và thực tế cho thấy, nếu tỉ số này càng lớn sẽ làm giảm sự xâm nhập của tia phun nhiên liệu đáng kể. Nguyên nhân của tình trạng này là do có sự tác động đáng kể đến hiện tượng tương tác khí động học giữa các hạt của tia phun và khí nén trong buồng đốt động cơ diesel;

- Nhiệt độ của môi chất công tác T_g : thực tế cho thấy, khi nhiệt độ tăng lên sẽ làm giảm khối lượng riêng của các hạt tia phun nhiên liệu. Vậy nên, khi nhiệt độ khí nén trong buồng đốt tăng lên, sẽ làm giảm khả năng xâm nhập của tia phun nhiên liệu.

2.1.1.2. Góc nón tia phun

Góc nón tia phun chính là góc được hình thành bởi hai đường thẳng bắt đầu xuất phát từ lỗ phun, hai đường thẳng này tiếp tuyến với không gian chùm tia phun và tại khoảng cách tương đương 60 lần đường kính của lỗ phun. Trên thực tế, góc nón tia phun có giá trị từ 5^0 đến 30^0 . Các kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng, góc nón tia phun có ảnh hưởng rất lớn đến sự phân bố vĩ mô của tia phun trong buồng đốt của động cơ diesel. Nếu tăng góc phun này sẽ làm giảm khả năng xâm nhập của tia phun và có thể tạo nên sự ảnh hưởng lẫn nhau của các tia phun trong buồng đốt (đối với đầu vòi phun có nhiều lỗ phun), qua đó hình thành điều kiện thuận lợi để một số hạt nhiên liệu tái hợp với nhau thành hạt nhiên liệu có kích thước lớn hơn.

Mặt khác, sự xâm nhập quá mức của tia nhiên liệu có thể xảy ra khi góc nón tia phun nhỏ hơn giá trị nhất định và sau đó tia phun nhiên liệu có thể va đập vào đỉnh piston hoặc thành vách xy lanh.

Trên thực tế, có nhiều công trình nghiên cứu và đã đưa ra nhiều mô hình toán để xác định góc nón tia phun, tuy nhiên một trong các mô hình được quan tâm hơn cả như sau [62]:

$$\tan \frac{\Phi}{2} = 0,13 \left(1 + \frac{p_g}{\rho_l} \right), (\text{độ}) \quad (2.5)$$

Mô hình này được áp dụng cho chất khí công tác (không khí nén) có khối lượng riêng ρ_a nhỏ hơn 15kg/m^3 , tuy nhiên mối quan hệ không thứ nguyên của kích thước vòi phun (l_o/d_o) không được đề cập đến. Do đó, Reits & Branco và Arai cùng các cộng sự trong các nghiên cứu của mình đã đề cập đến mối quan hệ không thứ nguyên của vòi phun để nghiên cứu độ mở lớn nhất của góc nón tia phun và cho thấy có sự tác động rất lớn đến độ mở của góc nón tia phun nhiên liệu.

Các nhà khoa học Hiroyasu & Arai đã đưa ra mô hình xác định góc nón tia phun của nhiên liệu [41]:

$$\Phi = 83,5 \left(\frac{l}{d_o} \right)^{-0,22} \left(\frac{d_o}{D_o} \right)^{0,15} \left(\frac{\rho_g}{\rho_l} \right)^{0,26}, (\text{độ}) \quad (2.6)$$

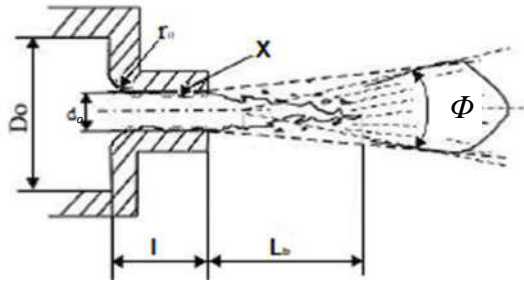
Trong đó: d_o -đường kính lỗ phun nhiên liệu (mm); D_o - đường kính khoang chứa nhiên liệu đầu vòi phun (mm); ρ_l -khối lượng riêng của nhiên liệu (kg/m^3); ρ_g -khối lượng riêng của không khí nén (kg/m^3).

Như vậy có thể thấy rằng, góc nón tia phun chịu sự tác động chủ yếu bởi kích thước hình học của vòi phun, của tỉ số khối lượng riêng ρ^* và hệ số Reynold của chất lỏng, hơn nữa còn chịu sự tác động của các yếu tố khác như sau [35]:

- Sự chênh lệch của áp suất phun Δp : tăng áp suất phun, sẽ làm tăng góc phun thậm chí đến giá trị lớn nhất, sau đó sẽ giảm dần
- Tỉ số của khối lượng riêng ρ^* : tăng tỉ số này sẽ làm tăng góc phun bởi do làm tăng tương tác khí động lực (theo Areegle và Naber & Siebers). Đối với giá trị $\rho^* < 0,04$, góc phun của tia nhiên liệu sẽ không phụ thuộc vào thông số này;
- Nhiệt độ của chất khí công tác T_g : tăng nhiệt độ của không khí nén trong buồng đốt động cơ, sẽ làm tăng quá trình bốc hơi của lớp bên ngoài tia phun, nên sẽ làm giảm góc phun [41].

2.1.1.3. Chiều dài phân rã sơ cấp

Chiều dài phân rã sơ cấp (hay chiều dài tia lỏng) của tia phun nhiên liệu là một đặc tính quan trọng để đánh giá tia phun nhiên liệu trong buồng đốt của động cơ diesel. Vùng này của tia phun cũng được gọi là vùng liên tục hoặc vùng tĩnh tại và vùng này được xác định bắt đầu từ lỗ phun cho đến điểm mà ở đó những hạt nhiên liệu đầu tiên được tách ra. Để xác định được chiều dài phân rã sơ cấp, người ta áp dụng nhiều phương pháp đo khác nhau và chiều dài này có thể được mô tả như trên Hình 2.3 (theo Hiroyasu & Arai) [41]:



D_o : đường kính khoang chứa nhiên liệu đầu vòi phun
 d_o : đường kính lỗ phun
 r_o : bán kính góc cửa vào lỗ phun
 L_b : chiều dài phân rã sơ cấp
 l : chiều dài lỗ phun
 Φ_s : góc nón tia phun
 X : khu vực bị xâm thực

Hình 2.3. Mô tả kích thước đầu phun và cấu trúc tia phun nhiên liệu

Trên cơ sở các kết quả thí nghiệm đo đạc được đối với chiều dài phân rã sơ cấp trong trường hợp của tia phun nhiên liệu sau khi đã thực hiện phun xong, hai nhà khoa học Hiroyasu & Arai đề xuất mô hình toán [41]:

$$L_b = 7d_o \left(1 + 0,4 \frac{r_o}{d_o} \right) \left(\frac{\rho_g}{\rho_l U_o^2} \right)^{0,05} \left(\frac{l}{d_o} \right)^{0,13} \left(\frac{\rho_l}{\rho_g} \right)^{0,5}, (\text{mm}) \quad (2.7)$$

Theo Bracco (1983), chiều dài tia phun được xác định bằng công thức [35]:

$$L_b = 7,15 \left(\frac{\rho_l}{\rho_g} \right)^{0,5}, (\text{mm}) \quad (2.8)$$

Hoặc mô hình tính chiều dài tia phun của Yule & Salter (1995) như sau [35]:

$$L_b = 2,65^{-3} (d_o) We_l^{-0,1} Re_l^{-0,3} \left(\frac{\rho_l}{\rho_g} \right)^{-0,08}, (\text{mm}) \quad (2.9)$$

Trên cơ sở của nhiều kết quả nghiên cứu lý thuyết cũng như thực nghiệm được tiến hành bởi nhiều nhà khoa học khác nhau cho thấy chiều dài phân rã sơ cấp chịu sự ảnh hưởng của các thông số sau [35]:

- Tỷ số của khối lượng riêng chất lỏng và chất khí ρ^* : nếu tăng tỷ số này lên, sẽ làm giảm chiều dài phân rã sơ cấp bởi do có sự tăng lên của tương tác khí động học giữa tia phun nhiên liệu và môi trường công tác bên trong buồng đốt của động cơ diesel;

- Mối quan hệ giữa chiều dài và đường kính lỗ phun (l/d_o): mối quan hệ này tác động đến độ xâm nhập của chiều dài tia phun khi thể tích công tác có điều kiện tương tự điều kiện môi trường. Tuy nhiên khi có áp suất cao trong thể tích công tác, thì mối quan hệ này lại làm giảm sự xâm nhập của tia phun vào môi trường của thể tích công tác;

- Đường kính của lỗ phun d_o : chiều dài phân rã sơ cấp có mối quan hệ tuyến tính với đường kính của lỗ phun. Chiều dài phân rã sơ cấp sẽ giảm tới mức thấp nhất khi đường kính lỗ phun giảm đến giá trị nhỏ nhất;

- Nhiệt độ không khí nén trong buồng đốt T_g : nhiệt độ T_g là một trong các tính chất nhiệt động học có ảnh hưởng nhiều nhất đến chiều dài phân rã sơ cấp, bởi vì vận tốc bốc hơi của chất lỏng (nhiên liệu) liên quan trực tiếp đến năng lượng của chất lỏng công tác bên trong xy lanh động cơ (cụ thể là nhiệt độ cao) và mức độ trộn giữa không khí với nhiên liệu. Tuy nhiên nhiệt độ của chất lỏng (nhiên liệu) công tác không có liên quan ảnh hưởng ở điều kiện áp suất phun cao đối với sự tăng lên của vận tốc phun và lượng nhiên liệu được phun. Tăng nhiệt độ của chất lỏng công tác ở điều kiện duy trì khối lượng riêng không đổi sẽ làm tăng nhiệt dung riêng của chất lỏng công tác và do vậy sẽ làm giảm chiều dài phân rã sơ cấp của tia phun nhiên liệu. Nguyên nhân chủ yếu là do hậu quả của lực kéo rất mạnh của năng lượng bốc hơi đối với nhiên liệu;

- Nhiệt độ nhiên liệu T_f : nhiệt độ của nhiên liệu có ảnh hưởng lớn đến chiều dài phân rã sơ cấp. Nếu nhiệt độ của nhiên liệu tăng lên, sẽ làm cho chiều dài phân rã sơ cấp giảm đi theo tỉ lệ thuận;

- Đặc tính của nhiên liệu hỗn hợp: các tính chất như khối lượng riêng, độ nhớt và áp suất hơi cũng có ảnh hưởng đáng kể đến chiều dài phân rã sơ cấp.

2.1.2. Đặc tính vi mô

Đặc tính vi mô của quá trình phun nhiên liệu được đặc trưng bằng kích cỡ khác nhau của các hạt nhiên liệu và sự thay đổi động lực của chúng. Nhìn chung, chất lượng phun tương đối với nhiên liệu được đánh giá bằng đường kính trung bình của các hạt nhiên liệu. Đường kính trung bình có tính quyết định chính là đường kính tương đương, mà nó đặc trưng cho toàn bộ nhóm của các hạt trong tia phun tương nhiên liệu.

Để xác định một cách chính xác kích thước các hạt nhiên liệu trong chùm tia phun nhiên liệu là một công việc hết sức phức tạp và khó khăn. Vì thế, chỉ có thể xác định được đường kính hạt nhiên liệu bằng phương pháp gần đúng được phát triển bởi Sauters và được gọi là đường kính trung bình Sauters (SMD). Phương trình (2.10) biểu thị phương pháp xác định đường kính trung bình bằng phương

pháp Sauters đối với hạt nhiên liệu trong chùm tia phun nhiên liệu của động cơ

diesel như sau [35]:

$$D_{mn} = \sqrt[m-n]{\frac{\sum_{i=1}^k D_i^m N_i}{\sum_{i=1}^k D_i^n N_i}}, (\mu\text{m})$$

(2.10)

Trong đó: N_i - là số lượng các hạt nhiên liệu của nhóm với đường kính D_i ; m, n - hạt nhiên liệu.

Phương pháp đường kính trung bình được áp dụng nhằm đơn giản hóa quá trình tính và phân tích các dữ liệu. Phương pháp đường kính trung bình Sauters được áp dụng sẽ biểu thị đường kính của các hạt có cùng tỉ số thể tích/ diện tích bề mặt của chùm tia phun nhiên liệu, cũng như đường kính trung bình số học D_{10} và

chúng được thể hiện như sau [35]:

$$SMD = \frac{\sum_{i=1}^k D_i^3}{\sum_{i=1}^k D_i^2}, (\mu\text{m})$$

(2.11)

$$D_{10} = \frac{\sum_{i=1}^k D_i}{\sum_{i=1}^k N_i}, (\mu\text{m})$$

(2.12)

Ở đây, SMD biểu thị đường kính trung bình Sauters, còn D_{10} biểu thị đường kính trung bình số học.

Sự phân bố các hạt nhiên liệu với kích thước đồng đều và đường kính nhỏ sẽ quyết định chất lượng phun nhiên liệu của VP. Kích thước của các hạt nhiên liệu được hình thành bởi quá trình phun sương và phụ thuộc vào các yếu tố sau [35]:

- Lưu lượng phun: đường kính hạt nhiên liệu tăng lên khi lưu lượng phun tăng lên. Bởi vì khi tăng lưu lượng phun sẽ làm tăng trở lực của chất lỏng, tương tác khí động học cũng tăng lên và kết quả làm cho kích thước hạt chất lỏng (nhiên liệu) tăng lên. Bên cạnh đó, cùng với sự tăng lên của số lượng hạt chất lỏng, sẽ xúc tiến hiện tượng liên kết giữa các hạt và kết quả sẽ làm tăng kích thước hạt;

- Tỉ số của khối lượng riêng ρ^* : tỉ số này có hai tác dụng ảnh hưởng đến kích thước hạt nhiên liệu. Nếu tăng tỉ số của khối lượng riêng sẽ tạo hiện tượng

tương tác khí động học lớn hơn, qua đó làm cho các hạt chuyển động chậm lại và làm tăng số lượng hạt trong không gian nhất định;

- Nhiệt độ chất khí công tác T_g : nhiệt độ khí nén trong xy lanh tăng lên, sẽ làm tăng vận tốc bốc hơi, do vậy các hạt nhiên liệu kích thước nhỏ sẽ có xu hướng bốc hơi hoàn toàn trong thời gian ngắn, còn các hạt nhiên liệu có kích thước lớn hơn sẽ duy trì kích thước lâu hơn cho đến khi bốc hơi hoàn toàn;

- Sự phát triển không gian của kích thước hạt: kích thước trung bình của các hạt nhiên liệu sẽ lớn lên liên quan đến sự tăng lên của khoảng cách giữa các hạt và vị trí đặt vòi phun;

- Sự phát triển của đường kính hạt theo thời gian: nhìn chung, đường kính trung bình của hạt nhiên liệu sẽ giảm tại điểm bắt đầu phun và tăng lên ở phần đuôi của tia phun; trong khi tại vùng có khoảng cách nhất định kể vòi phun, các hạt nhiên liệu lại duy trì được giá trị đường kính không đổi. Hay nói cách khác, kích thước hạt nhiên liệu nhỏ hơn ở thời điểm bắt đầu phun và tăng lên ở phần đuôi của tia phun.

Đã có nhiều tác giả nghiên cứu về kích thước hạt nhiên liệu trong quá trình phun và sau đây là những mô hình tương đối phổ biến để tính đường kính trung bình Sauters của các hạt nhiên liệu:

- Mô hình được phát triển bởi Hiroyasu & Arai [35, 41]:

$$SMD = 0,38d_o (Re_l)^{0,25} We_l^{-0,32} \left(\frac{\mu_l}{\mu_g} \right)^{0,37} \left(\frac{\rho_l}{\rho_g} \right)^{-0,47}, (\mu m) \quad (2.13)$$

$$SMD = 4,12d_o (Re_l)^{0,12} We_l^{-0,54} \left(\frac{\mu_l}{\mu_g} \right)^{0,54} \left(\frac{\rho_l}{\rho_g} \right)^{0,18}, (\mu m) \quad (2.14)$$

Mô hình này áp dụng cho hai trường hợp: phun hoàn thiện (2.13) và phun chưa hoàn thiện (2.14).

- Mô hình được phát triển bởi Varde và cộng sự vào năm 1984 [45]:

$$SMD = 8,7d (Re_l We_l)^{-0,28}, (\mu m) \quad (2.15)$$

Với những mô hình như trên về đặc tính vi mô của quá trình phun nhiên liệu sẽ đánh giá được sự ảnh hưởng của các chủng loại nhiên liệu có đặc tính khác nhau đến chất lượng quá trình phun nhiên liệu vào buồng đốt động cơ diesel thủy.

2.2. Ảnh hưởng của đặc tính nhiên liệu đến quá trình phun

2.2.1. Ảnh hưởng của đặc tính nhiên liệu đến thời điểm phun

Nhiên liệu khác nhau được thể hiện không chỉ thông qua đặc tính lý hóa của chúng như thường thấy, mà còn được thể hiện thông qua tốc độ truyền âm thanh, mức độ chịu nén và sự đàn hồi. Với cùng HTPNL, nếu sử dụng loại nhiên liệu mới thay thế, do có sự khác biệt về tính chất vật lý, có thể dẫn đến hiện tượng thay đổi thời điểm phun nhiên liệu. Bên cạnh đó, do sự khác biệt về tính chất hóa học, cũng sẽ xảy ra hiện tượng thay đổi độ cháy trễ. Nếu tổng hợp cả hai yếu tố này, việc sử dụng nhiên liệu mới thay thế có thể làm thay đổi đáng kể thời gian cháy trễ đối với động cơ và hậu quả cuối cùng là sự thay đổi quá trình cháy và hiệu suất công tác của động cơ diesel [43, 50].

Trên thực tế rất khó để đánh giá một cách chính xác sự ảnh hưởng của từng đặc tính của nhiên liệu đến thời điểm phun nhiên liệu hay còn gọi là tính “định thời” của HTNL động cơ diesel thủy. Ở đây, NCS sẽ tập trung lựa chọn những yếu tố mang tính đặc trưng và gián tiếp để thực hiện mục tiêu nghiên cứu. Đặc tính tiêu biểu của nhiên liệu đó là khối lượng riêng, độ nhớt, sức căng bề mặt, trị số Cetan... có ảnh hưởng đến tính định thời sẽ được nghiên cứu gián tiếp thông qua vận tốc âm thanh, hệ số mô-đun đàn hồi của nhiên liệu.

Vận tốc âm thanh là tốc độ lan truyền sóng âm thanh trong một môi trường truyền âm. Đối với động lực học chất lỏng: vận tốc âm thanh trong môi trường chất lỏng được áp dụng như là phép đo gián tiếp đối với tốc độ của một vật thể chuyển động trong môi trường này. Tỉ số giữa tốc độ của vật thể chuyển động và của âm thanh trong chất lỏng được gọi là hệ số Mach.

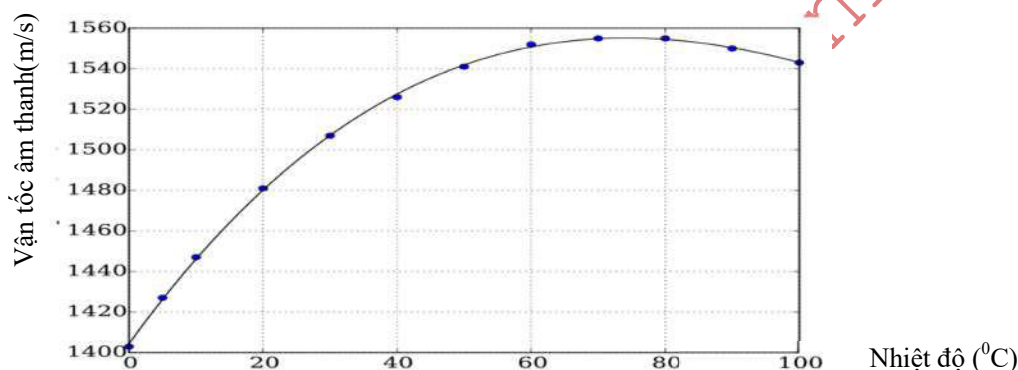
Để biểu thị và tính toán vận tốc âm thanh trong các môi trường khác nhau, người ta thường biểu thị vận tốc âm thanh là “c”, được lấy từ chữ đầu của từ Latinh *celeritas*” nghĩa là tốc độ và được biểu thị bằng biểu thức toán Newton-Laplace như sau [38]:

$$c = \sqrt{\frac{k_s}{\rho}}, (\text{m/s}) \quad (2.16)$$

Chất lỏng là vật chất có hệ số cứng khác “0” hoặc không có lực cắt, vận tốc âm thanh trong chất lỏng được tính theo công thức [38]:

$$c_{cl} = \sqrt{\frac{K}{\rho}}; K - \text{là hệ số chịu nén của chất lỏng} \quad (2.17)$$

Trên Hình 2.4 cho thấy đặc tính mối quan hệ giữa vận tốc âm thanh và nhiệt độ trong nước. Nhiệt độ càng tăng, càng làm tăng vận tốc âm thanh lan truyền trong môi trường nước, tuy nhiên nó đạt giá trị lớn nhất ở nhiệt độ khoảng 70⁰C và có giá trị khoảng 1555 m/s [38].



Hình 2.4. Mối quan hệ giữa vận tốc âm thanh và nhiệt độ trong nước

Khái niệm vận tốc âm thanh được đưa ra ở đây nhằm ứng dụng trong nghiên cứu lý thuyết này vì khi HTPNL thực hiện cấp nhiên liệu vào buồng đốt của động cơ để tạo được áp suất đủ lớn mở vòi phun cấp nhiên liệu vào động cơ, cần một thời gian nhất định và thời gian này sẽ phụ thuộc vào tốc độ lan truyền sóng áp suất từ bơm cao áp đến vòi phun và vận tốc này chính được biểu thị bằng vận tốc âm thanh.

Nghiên cứu cho thấy, vận tốc lan truyền sóng áp suất trong chất lỏng phụ thuộc vào loại chất lỏng, nhiệt độ và độ lớn của áp suất. Cho rằng các yếu tố về nhiệt độ và áp suất trong HTPNL của động cơ diesel là như nhau khi sử dụng các loại nhiên liệu khác nhau, thì sóng lan truyền áp suất trong HTPNL sẽ phụ thuộc vào khối lượng riêng của chất lỏng đó.

Hệ số đàn hồi hay biến đổi thể tích (K) của vật chất chính là số đo của sự không chịu nén của vật chất. Hệ số này được định nghĩa là tỉ số giữa một lượng tăng áp suất rất nhỏ với sự giảm thể tích do chịu tác động của áp suất. Nếu lấy giá trị hệ số là dương $K > 0$, thì phương trình được thể hiện như sau [60]:

$$K = \rho \frac{dp}{d\rho} \quad (2.18)$$

Đối với chất lỏng: hệ số biến đổi thể tích K và khối lượng riêng ρ sẽ quyết định sự truyền vận tốc âm thanh (hay là sóng áp suất), biểu thị mối quan hệ này như sau [29]:

$$c = \sqrt{\frac{K}{\rho}} \quad (2.19)$$

Như vậy rõ ràng hệ số biến đổi thể tích có vai trò quan trọng trong quá trình lan truyền sóng áp suất trong chất lỏng, mà vận tốc lan truyền này lại phụ thuộc vào khối lượng riêng của chất lỏng.

Nhiên liệu diesel và nhiên liệu hỗn hợp dầu thực vật - diesel là hai loại chất lỏng có các thành phần khối lượng riêng khác nhau (Bảng 1.5), nên chắc chắn sự lan truyền sóng áp suất sẽ khác nhau và đây chính là một phần mục tiêu nghiên cứu, tính toán ảnh hưởng của đặc tính nhiên liệu đến thời điểm phun.

Sự ảnh hưởng của mô-đun đàn hồi của nhiên liệu đến thời điểm phun được xây dựng trên cơ sở sự chịu nén của nhiên liệu trong quá trình cấp nhiên liệu từ bơm cao áp đến vòi phun. Giả thiết vận tốc thay đổi của thể tích bởi bơm cao áp bằng với vận tốc của nhiên liệu bị nén, thì phương trình ước tính thời gian đạt được giá trị áp suất để mở vòi phun như sau [38]:

$$v_p A_p = \frac{V_f}{K} \cdot \frac{dp}{d\theta} \quad (2.20)$$

Cho rằng tất cả các thông số trên đều không đổi, có thể lấy tích phân của áp suất theo GQTK như sau: $p(\theta) = \frac{K \cdot v_p \cdot A_p}{V_f} \theta + p_0$ (2.21)

Vậy GQTK cần thiết để áp suất của nhiên liệu đạt giá trị mở vòi phun sẽ là:

$$\theta = \frac{(p_{MVP} - p_0) V_f}{K v_p A_p}, (\text{độ}) \quad (2.22)$$

Thay công thức (2.19) vào công thức (2.22) ta có:

$$\theta = \frac{(p_{MVP} - p_0) V_f}{c^2 \rho v_p A_p}, (\text{độ}) \quad (2.23)$$

Ở đây: p_{MVP} là áp suất cần thiết để mở vòi phun hay còn gọi là áp suất nâng kim

phun. Đối với động cơ nghiên cứu trong luận án $p_{MVP}=280$ bar.

Công thức (2.23) cho thấy loại nhiên liệu có khối lượng riêng và vận tốc âm thanh càng lớn thì θ càng bé tức thời điểm phun của nó sẽ càng sớm.

2.2.2. Ảnh hưởng của đặc tính nhiên liệu đến thời gian cháy trễ

Theo lý thuyết, nhiên liệu tự cháy và cháy ngay không có sự chậm trễ. Tuy nhiên, thực tế không phải như vậy, mà nhiên liệu được cấp vào buồng đốt động cơ luôn có sự cháy trễ phụ thuộc vào đặc tính hóa học của nó. Các nghiên cứu đều chỉ ra rằng, yếu tố làm cho nhiên liệu cháy trễ chính là năng lượng cần thiết cho quá trình tự cháy của nhiên liệu hay còn gọi là năng lượng kích hoạt cháy E_A và được đặc trưng bằng trị số Cetan. Mỗi loại nhiên liệu đều có trị số Cetan khác nhau và giá trị này càng lớn, nhiên liệu càng dễ cháy hay thời gian cháy trễ càng ngắn. Theo các nghiên cứu thực nghiệm, thời gian cháy trễ của nhiên liệu được xác định [14]:

$$\tau_i = Ap^{-n} \exp\left(\frac{E_A}{RT}\right), (\text{ms}) \quad (2.24)$$

Trong công thức (2.24) về mô hình xác định sự cháy trễ của nhiên liệu bao gồm hai yếu tố quyết định: các quá trình vật lý được thể hiện qua các thông số áp suất p và nhiệt độ T của hỗn hợp cháy trong xy lanh và các quá trình hóa học được thể hiện qua năng lượng kích hoạt E_A , hằng số A và k . Đối với mỗi loại nhiên liệu, sẽ đòi hỏi một năng lượng kích hoạt E_A và khả năng tự bay hơi, khuếch tán hòa trộn với không khí để tự cháy. Để xác định được sự cháy trễ của nhiên liệu, phải xác định được các thông số liên quan như áp suất, nhiệt độ của hỗn hợp cháy trong xy lanh, năng lượng kích hoạt và các thông số liên quan khác. Tuy nhiên, để xác định được các thông số thực nghiệm như k , n và A là rất khó khăn, nên trên cơ sở đề xuất của Arrhenius, các nhà khoa học Hardenberg và Hase đã phát triển công thức thực nghiệm tính thời gian cháy trễ theo góc quay trục khuỷu (GQTK) như sau [43]:

$$\tau_{id}(GQTK) = (0,36 + 0,22\bar{S}_p) \exp\left[E_A \left(\frac{1}{RT_{cyl}} - \frac{1}{17.190}\right) \left(\frac{21,1}{p_{cyl} - 12,4}\right)^{0,63}\right], (\text{độ}) \quad (2.25)$$

Trong đó: năng lượng kích hoạt của nhiên liệu được xác định thông qua trị số Cetan của nhiên liệu [43]:

$$E_A = \frac{618,840}{CN + 25} \quad , \text{ (J/mol)} \quad (2.26)$$

Nhiệt độ và áp suất của hỗn hợp cháy được xác định theo các công thức [43]:

$$T_{cyl} = T_n \varepsilon^{k-1} \text{ và } p_{cyl} = p_n \varepsilon^k \quad (2.27)$$

Tuy nhiên hệ số k có giá trị khác nhau và phụ thuộc vào chế độ làm việc của động cơ thông qua tốc độ trung bình của piston động cơ và có thể được xác định như sau

$$[43]: \quad k = \gamma - \frac{\gamma - 1}{1,1 \bar{S}_p + 1} \quad (2.28)$$

Do ảnh hưởng của sự cháy trễ rất đáng kể đến quá trình cháy của nhiên liệu và hiệu suất làm việc của động cơ, cũng như tác động đến phát thải, nên việc đánh giá sự cháy trễ của nhiên liệu trên cơ sở lý thuyết rất quan trọng không chỉ đối với quá trình thiết kế động cơ, mà cả trong khi khai thác động cơ với nhiều loại nhiên liệu khác nhau. Trong thực tế, nếu biết được mức độ cháy trễ của nhiên liệu có thể giúp người vận hành hiệu chỉnh sự cấp nhiên liệu vào động cơ phù hợp và làm cho động cơ diesel hoạt động với hiệu quả cao cả về kỹ thuật và môi trường. Như vậy, sự cháy trễ của nhiên liệu phụ thuộc vào trị số Cetan và một số các điều kiện khai thác khác của động cơ như: chế độ tải, tốc độ, nhiệt độ cuối quá trình nén.

2.2.3. Ảnh hưởng của đặc tính nhiên liệu đến áp suất phun

Lưu lượng thể tích nhiên liệu cung cấp ở bơm sẽ bằng lưu lượng thể tích nhiên liệu phun ra khỏi vòi phun biểu thị bằng phương trình liên tục [24]:

$$Q_b = Q_{vp} \quad , (\text{m}^3/\text{s}) \quad (2.29)$$

Lưu lượng của vòi phun được tính theo công thức sau:

$$Q_{vp} = i \cdot F_i \cdot W_{ph.lt} \quad , (\text{m}^3/\text{s}) \quad (2.30)$$

Từ phương trình (2.30) ta có:

$$W_{ph.lt} = \frac{Q_{vp}}{i \cdot F_i} \quad , (\text{m/s}) \quad (2.31)$$

Đối với lỗ phun hình ống trụ, tốc độ chảy nhiên liệu qua lỗ phun được tính theo công thức [24]:

$$W_{ph.lt} = \varphi_{cn} \sqrt{2 \frac{P_{ph.lt} - P_c}{\rho_{nl}}} \quad , (\text{m/s}) \quad (2.32)$$

Từ phương trình (2.31) và (2.32) ta có:

$$Q_{vp} = i.F_i \varphi_{cn} \sqrt{2 \frac{P_{ph.lt} - P_c}{\rho_{nl}}} \quad , (m^3/s) \quad (2.33)$$

Lưu lượng cấp nhiên liệu của bơm cao áp được tính theo công thức:

$$Q_b = A_p \cdot v_p \quad , (m^3/s) \quad (2.34)$$

Tốc độ của piston bơm cao áp được xác định theo công thức [24]:

$$v_p = \frac{dh_a}{d\tau} = \frac{dh_a}{d\varphi} \cdot \frac{d\varphi}{d\tau} \quad (2.35)$$

Khi vòng quay không đổi thì tốc độ góc [24]:

$$\omega = \frac{d\varphi}{d\tau} = \frac{\pi \cdot n}{30} \quad , (rad/s) \quad (2.36)$$

Thay (2.35) và (2.36) vào (2.34) ta được công thức tính lưu lượng cấp nhiên

$$\text{liệu của BCA: } Q_b = A_p \frac{dh_a}{d\varphi} \frac{\pi \cdot n}{30} \quad , (m^3/s) \quad (2.37)$$

Từ 3 phương trình (2.29), (2.33) và (2.37) ta có:

$$i.F_i \varphi_{cn} \sqrt{2 \frac{P_{ph.lt} - P_c}{\rho_{nl}}} = A_p \frac{dh_a}{d\varphi} \frac{\pi \cdot n}{30} \quad (2.38)$$

Từ phương trình (2.38) suy ra:

$$P_{ph.lt} = P_c + \frac{\rho_{nl} \pi^2}{1800} \left(\frac{A_p}{i.F_i \varphi_{cn}} \right)^2 \left(\frac{dh_a}{d\varphi} \right)^2 n^2 \quad , (Pa) \quad (2.39)$$

Trên cơ sở công thức (2.39) cho thấy khi lựa chọn loại nhiên liệu khác để thay thế nhiên liệu diesel truyền thống áp dụng cho động cơ diesel tàu thủy sẽ có những khác biệt sau đây:

- Áp suất phun nhiên liệu sẽ bị thay đổi do có sự khác biệt giữa khối lượng riêng của nhiên liệu thay thế và nhiên liệu diesel truyền thống, bởi vì áp suất phun nhiên liệu phụ thuộc theo hàm bậc nhất với khối lượng riêng khi vòng quay của động cơ không thay đổi;

- Còn trong trường hợp nếu lượng cấp nhiên liệu cho một chu trình như nhau (đề cùng chế độ tay ga nhiên liệu), do nhiệt trị của nhiên liệu thay thế khác so với nhiên liệu diesel truyền thống, nên vòng quay của động cơ diesel sẽ bị thay đổi. Nếu nhiên liệu thay thế là hỗn hợp nhiên liệu dầu thực vật - diesel với nhiệt trị có

giá trị nhỏ hơn (năng lượng cấp cho một chu trình thấp hơn) sẽ làm cho vòng quay của động cơ giảm, đồng nghĩa với áp suất phun nhiên liệu hỗn hợp cũng thấp hơn theo qui luật bình phương.

2.2.4. Ảnh hưởng của đặc tính nhiên liệu đến lưu lượng phun

Quá trình phun nhiên liệu là một quá trình lưu động của dòng chất lỏng qua các lỗ vòi phun nhiên liệu. Nếu giả sử bỏ qua các tổn thất thủy lực trong vòi phun (chủ yếu là tổn thất cục bộ, còn tổn thất đường dài là rất nhỏ) và sự rò rỉ của nhiên liệu trong vòi phun thì quá trình lưu động này tuân theo định luật Bernoulli [43]:

$$\frac{W_{ph.lt}^2}{2} + \frac{P_{ph.lt}}{\rho_l} = C \quad (2.40)$$

Ngoài ra tốc độ phun nhiên liệu lại có thể xác định theo công thức sau:

$$W_{ph.tt} = \frac{Q_{vp}}{iF_i}, \quad (m/s) \quad (2.41)$$

Từ (2.40) và (2.41), sẽ rút ra được:

$$\frac{Q_{vp}^2}{2i^2F_i^2} + \frac{P_{ph.lt}}{\rho_l} = C \quad (2.42)$$

$$\text{Suy ra: } Q_{vp} = iF_i \sqrt{2 \left(C - \frac{P_{ph.lt}}{\rho_l} \right)}, (kg/h) \quad (2.43)$$

Công thức (2.43) đánh giá sự ảnh hưởng của loại nhiên liệu có khối lượng riêng khác nhau đến lượng nhiên liệu cấp vào trong động cơ.

Hoặc cũng có thể xác định lượng nhiên liệu cấp vào động cơ bằng công thức sau [43]:

$$Q = C_D F_i \sqrt{2 \rho_l \Delta p}, (kg/h) \quad (2.44)$$

Nếu sự giảm áp suất tại đầu vòi phun và tiết diện các lỗ phun là không đổi trong giai đoạn phun nhiên liệu, thì lượng nhiên liệu cấp vào xy lanh động cơ được xác định [43]:

$$Q = C_D F_i \sqrt{2 \rho_l \Delta p} \frac{\Delta \theta}{360n}, (kg/h) \quad (2.45)$$

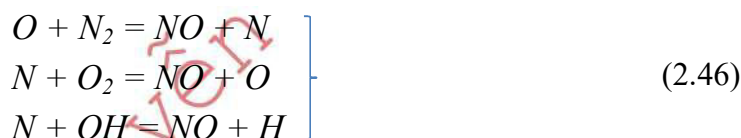
Các công thức (2.43, 2.44, 2.45) cho thấy lưu lượng phun nhiên liệu vào buồng đốt động cơ có phụ thuộc vào khối lượng riêng ρ_l của nhiên liệu hỗn hợp khi các yếu tố khác không đổi. Ngoài ra động cơ diesel tàu thủy trang bị bộ điều tốc, do

đó khi sử dụng loại nhiên liệu hỗn hợp thay thế để duy trì vòng quay không đổi thì lượng nhiên liệu cấp cho một chu trình sẽ thay đổi, khi đó nhiên liệu hỗn hợp có nhiệt trị thấp hơn, khối lượng riêng lớn hơn thì lượng cấp nhiên liệu sẽ tăng lên.

2.3. Ảnh hưởng của đặc tính nhiên liệu đến phát thải NO_x

NO_x là tên gọi chung của ô xít nitơ gồm các chất NO , NO_2 và N_2O hình thành do sự kết hợp giữa ô xy và nitơ ở điều kiện nhiệt độ cao; trong đó, NO chiếm đại bộ phận, là khí không màu, không mùi, không tan trong nước có thể gây nguy hiểm cho cơ thể do tác dụng với hồng cầu trong máu, làm giảm khả năng vận chuyển ô xy gây bệnh thiếu máu; NO_x có thể đi sâu vào phổi con người do ít hòa tan trong nước... Chất ô nhiễm này ngày càng được quan tâm và trong một số trường hợp, nó là chất ô nhiễm chính làm giới hạn tính năng kỹ thuật của động cơ. Các giải pháp kỹ thuật nhằm hạn chế NO_x trước, trong và sau quá trình cháy cũng đang được nghiên cứu áp dụng.

Sự hình thành NO được mô tả thông qua cơ chế Y.B.Zeldovich:



Quá trình cháy ở động cơ diesel diễn ra trong điều kiện nhiệt độ và áp suất cao, vùng phản ứng rất mỏng (khoảng 0,1mm) và thời gian cháy ngắn, thêm vào đó áp suất trong xy lanh tăng theo quá trình cháy, điều này làm nhiệt độ của bộ phận khí cháy trước cao hơn nhiệt độ đạt được ngay sau khi ra khỏi khu vực màng lửa, nên NO chủ yếu hình thành ở khu vực sau màng lửa. Phản ứng tạo NO có tốc độ thấp hơn nhiều so với phản ứng cháy hydrocarbon. Tốc độ phản ứng ô xy hóa N_2 và lượng NO được hình thành phụ thuộc rất nhiều vào nhiệt độ. Nồng độ NO cũng phụ thuộc vào nồng độ ô xy tham gia phản ứng. Vì vậy, trong điều kiện nhiệt độ cao và nồng độ O_2 đủ lớn thì nồng độ NO trong sản phẩm cháy cũng lớn. Nhìn chung, NO_x được hình thành là do N_2 tác dụng với O_2 ở điều kiện nhiệt độ cao (vượt quá 1100°C) [44]. Một số lượng lớn nghiên cứu thực nghiệm đã chỉ ra các dạng hình thành NO_x gồm [12, 14]:

- NO_x hình thành do nhiệt độ cao trong điều kiện thừa ô xy ($\lambda > 1$);
- NO_x hình thành do N_2 trong không khí tác dụng với gốc HC ($\lambda < 1$);
- N_2O trung gian xảy ra ở nhiệt độ thấp hơn và áp suất cao hơn;
- Nitơ có thể tạo thành một lượng nhỏ hợp chất CN, HCN và bị ô xy hóa hình thành NO_x .

Nếu thời gian cháy kéo dài ở nhiệt độ cao và tốc độ truyền nhiệt thấp sẽ ảnh hưởng đến sự hình thành NO_x . P.A. Lakshmin Araianan đã xây dựng mối quan hệ giữa hàm lượng NO_x hình thành do nhiệt với quá trình cháy theo phương trình sau [53]:

$$\text{NO}_{x_{\text{gda}}} = \frac{C_d \cdot A_h \cdot t_{\text{dur}} \cdot i \left(\int_{\text{SOC}}^{\text{EOC}} \sum_{i=1}^n V_i \cdot \text{NO}_x \right) \sqrt{2(P_{\text{inj}} - P_c)}}{V_{\text{cyl}} \cdot P_1^{0.5}}, (\text{g/kW.h}) \quad (2.47)$$

Từ công thức (2.47) cho thấy hàm lượng NO_x trung bình của chu trình sinh ra phụ thuộc vào nhiều yếu tố, trong đó có các yếu tố chính là áp suất phun, GPS và khối lượng riêng của loại nhiên liệu. Nếu tăng GPS làm cho thời điểm bắt đầu quá trình cháy xuất hiện sớm hơn, do đó làm tăng áp suất cháy cực đại và thời gian sản phẩm cháy tồn tại ở nhiệt độ cao tăng lên khiến nồng độ NO_x tăng, còn nếu giảm GPS (phun trễ) thì NO_x giảm, vì NO_x rất nhạy cảm với sự biến thiên nhiệt độ.

2.4. Lựa chọn mô hình toán xác định ảnh hưởng của đặc tính nhiên liệu đến chất lượng phun

Nhằm tạo ra được tia phun nhiên liệu tối ưu luôn là vấn đề được các hãng chế tạo động cơ diesel tàu thủy nói riêng và động cơ diesel nói chung đều mong muốn. Trên thực tế, đã có nhiều công trình nghiên cứu về đặc tính tia phun nhiên liệu, cũng như mô hình của tia phun. Bắt đầu từ các nhà khoa học đi tiên phong về vấn đề này như Warunki et all (1960), Dent (1971), Reits & Branco (1979), tuy nhiên Hiroyasu & Arai là những người nghiên cứu vô cùng tỉ mỉ và đưa ra những mô hình toán có độ chính xác khá cao. Theo một nghiên cứu của F.Dos Santos và Le Moyne tại đại học Universite' de Bourgogne, France (2011) về so sánh các mô hình biểu thị đặc tính tia phun nhiên liệu đối với động cơ diesel và thấy rằng, mô hình do Hiroyasu & Arai đề xuất có hệ số quyết định là 87,41% và sai số khoảng 7,15% khi so sánh với các kết quả thực nghiệm đo được, trong khi mô hình của Reits và Bracco với sai số 23,91%, mô hình của Siebers với sai số là 24,27% [24,

34, 37, 42, 43, 47, 64].

Từ các nhận định có cơ sở trên, luận án sẽ lựa chọn mô hình do Hiroyasu & Arai đề xuất để nghiên cứu, tính toán sự ảnh hưởng của đặc tính nhiên liệu hỗn hợp đến chất lượng phun của HTNL động cơ diesel tàu thủy thông qua đặc tính tia phun nhiên liệu:

- Mô hình tính chiều dài tia phun theo công thức: (2.3);
- Mô hình tính góc nón tia phun của theo công thức: (2.6);
- Mô hình tính chiều dài phân rã sơ cấp theo công thức: (2.7);
- Mô hình tính đường kính hạt trung bình nhiên liệu theo công thức: (2.13).

2.5. Cơ sở lý thuyết CFD mô phỏng, đánh giá quá trình phun, tạo hỗn hợp và cháy trong động cơ diesel tàu thủy

Ngày nay, lý thuyết CFD đã trở thành một công cụ mạnh mẽ và tiện dụng để giải quyết các bài toán liên quan đến động học và các đặc tính lý hóa của dòng lưu chất trong môi trường phức tạp, đa số mô hình toán mô tả các quá trình trên thường ở dạng các phương trình vi phân. Việc tìm nghiệm của những phương trình này rất phức tạp nên thông thường không thể dùng phương pháp giải tích. Thay vào đó là sử dụng các phương pháp số để tìm nghiệm gần đúng, các phương pháp số được sử dụng phổ biến gồm có phương pháp sai phân hữu hạn (Finite Difference Method-FDM), phần tử hữu hạn (Finite Element Method - FEM), thể tích hữu hạn (Finite Volume Method - FVM). Các phương pháp này được gọi chung là phương pháp rời rạc hóa phương trình vi phân theo không gian và thời gian, trên cơ sở chia nhỏ miền tính toán thành một lưới gồm những phần tử ràng buộc lẫn nhau trên lưới theo những nguyên tắc xác định [22].

Trong buồng cháy động cơ, dòng lưu chất có hai pha: pha khí luôn có rất nhiều thành phần và thay đổi do tham gia các phản ứng hoá học; pha lỏng là các hạt nhiên liệu phân rã, có sự tham gia phản ứng hoá học của nhiều chất và diễn biến phức tạp. Do vậy, đây là quá trình nhiều thành phần và nhiều pha, khi tính toán các quá trình này, các phương trình bảo toàn khối lượng, động lượng và năng lượng cần bổ sung thêm các số hạng “nguồn” khi xét đến sự chuyển hoá năng lượng, thay đổi nồng độ các chất và tương tác giữa pha khí-pha lỏng. Vì vậy, áp dụng lý thuyết

CFD với sự trợ giúp của máy tính thông qua các chương trình mã nguồn mở CFD, để tính toán mô phỏng các quá trình diễn ra trong lỗ phun, buồng cháy động cơ là cần thiết. Ưu điểm của phương pháp này là phần mềm bậc cao có lợi thế dùng để mô phỏng giảm thời gian và chi phí, độ chính xác và tin cậy luôn được đề cao; khảo sát rất nhiều ứng dụng, hiện tượng ngoài thực tế; được nhiều tác giả trên Thế giới tin dùng và có nhiều bài báo công bố trên các tạp chí uy tín. Nó dự đoán được chính xác hiện tượng sẽ xảy ra với những giả thiết có trước và khảo sát những vấn đề tồn tại để so sánh và hiệu chỉnh với mô hình thực tế [47, 64];

Tuy nhiên trong khuôn khổ của luận án, phần này NCS chỉ giới hạn về trường áp suất, trường vận tốc, quỹ đạo chuyển động rời của các loại nhiên liệu hỗn hợp và DO trong lỗ phun của vòi phun vì nguyên nhân tán xạ nhiên liệu khi phun là do nhiễu loạn nhiên liệu phát sinh khi lưu động qua lỗ phun, trong đó cơ chế rời loạn phá vỡ chùm tia đóng vai trò quyết định. Trong khi đó Ansys Fluent hỗ trợ tối đa cả về định tính và định lượng để phân tích cơ chế trên. Với các thông số này, có thể rút ra được những đánh giá khá chi tiết về ảnh hưởng của nhiên liệu hỗn hợp đến chất lượng phun nhiên liệu của HTNL của động cơ diesel tàu thủy [22, 67].

Mô phỏng số nhằm làm rõ hơn những tác động của loại nhiên liệu hỗn hợp đến chất lượng phun mà các mô hình toán chưa thể hiện được và sau đây là những vấn đề mà mô phỏng số hỗ trợ giải quyết, mô tả rất tốt:

- Lực cắt của quá trình khí động học xuất hiện trong suốt quá trình phun dẫn đến hiện tượng không ổn định của tia phun nhiên liệu;
- Hiện tượng chảy rời tạo nên sự tan rã trong tia phun nhiên liệu có ảnh hưởng rất lớn đến làm chậm tốc độ bắt đầu tạo phun sương của tia phun nhiên liệu;
- Hiện tượng xâm thực gây nên sự tan rã của tia phun do có sự giảm đi của thiết diện mặt cắt và hiện tượng bóng khí bị vỡ tại cửa vào của lỗ phun. Khi tính chất nhiên liệu thay đổi thì xâm thực cũng thay đổi theo, điều này chính là hình thành mối tương quan giữa xâm thực trong lỗ phun và tính chất nhiên liệu.

Tuy nhiên, ở đây có hai hiện tượng cần đặc biệt quan tâm trong quá trình nghiên cứu, đó là hiện tượng xâm thực và hiện tượng chảy rời trong lỗ phun nhiên

liệu. Cả hai hiện tượng này xảy ra đồng thời trong quá trình lưu động nhiên liệu qua các lỗ phun và các hiện tượng này xuất hiện khác nhau đối với các loại nhiên liệu khác nhau khi cùng áp dụng một HTNL.

Hai hiện tượng này có vai trò quan trọng trong xác định hiệu suất và khí thải của động cơ vì chất lượng phun sương và hòa trộn với không khí phụ thuộc hoàn toàn vào giai đoạn này. Trong quá trình lưu động trong lỗ phun, năng lượng của nhiên liệu được chuyển hóa thành động năng là do chịu áp suất cao.

Nghiên cứu này đưa ra sự so sánh về định tính của đặc tính các loại nhiên liệu theo Bảng 1.5 đến đặc điểm dòng chảy trong lỗ phun của vòi phun động cơ diesel 6LU32 làm cơ sở khoa học để điều chỉnh thông số phun đảm bảo chỉ tiêu kinh tế và môi trường.

Để có thể mô phỏng được các hiện tượng trên, mô hình chảy rối được áp dụng và chảy rối là trạng thái chuyển động của dòng chất lỏng có hình dạng bên ngoài ngẫu nhiên và chuyển động xoáy hỗn loạn theo cả 3 chiều. Khi có hiện tượng rối diễn ra sẽ làm tăng khả năng tiêu hao năng lượng và trao đổi nhiệt... Thông thường việc mô tả dòng rối thường gặp nhiều khó khăn do có một số đại lượng chưa biết. Mô hình rối có nhiệm vụ cơ bản là xác định các đại lượng này [30, 33, 52, 55].

Trong Ansys Fluent hỗ trợ tính toán các mô hình rối sau [22]:

- Mô hình Splart-Allmaras;
- Mô hình $k-\varepsilon$:
 - Mô hình $k-\varepsilon$ standard;
 - Mô hình $k-\varepsilon$ thường hóa (RNG);
 - Mô hình $k-\varepsilon$ realizable.
- Mô hình $k-\omega$:
 - Mô hình $k-\omega$ tiêu chuẩn;
 - Mô hình $k-\omega$ với dòng cắt (SST).
- Mô hình V^2-f ;
- Mô hình ứng suất Renold (RSM);
- Mô hình xoáy lớn (LES).

Và một số mô hình cháy khác (Phụ lục 5).

Tuy nhiên mỗi mô hình rối chỉ đúng cho một số trường hợp nhất định vì vậy trong giới hạn luận án này tác giả sử dụng mô hình rối $k-\varepsilon$, đây là mô hình bán thực

nghiệm dựa trên các phương trình chuyển động rối với năng lượng động học rối k và tỉ lệ khuếch tán của ε .

Xuất phát từ 2 phương trình cơ bản là phương trình liên tục và phương trình động lượng. Với dòng rối, hai phương trình này được viết lại như sau [51]:

$$\begin{cases} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = 0 \\ \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial \rho}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_l}{\partial x_l} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \overline{u'_i u'_j}) \end{cases} \quad (2.48)$$

Với u'_i và u'_j là các mạch động (chênh lệch giữa vận tốc tức thời và vận tốc trung bình).

Hai phương trình này chưa đủ khép kín để giải tất cả các ẩn (3 ẩn u_i, u_j và $-\rho \overline{u'_i u'_j}$) do vậy ta phải tìm thêm các phương trình liên quan để khép kín hệ phương trình có thể giải được. Tùy theo dạng phương trình thêm vào mà ta có các phương pháp giải khác nhau.

Theo giả thiết và độ nhớt rối của Boussinesq, trong mô hình $k-\varepsilon$ các phương trình được thêm vào như sau [51]:

$$-\rho \overline{u'_i u'_j} = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \left(\rho k + \mu_t \frac{\partial u_l}{\partial x_l} \right) \delta_{ij} \quad (2.49)$$

Phương trình thể hiện mối quan hệ giữa ứng suất Reynolds $-\rho \overline{u'_i u'_j}$ với biến thiên vận tốc trung bình. Để giải phương trình này cần khép kín bằng các phương trình liên quan đến năng lượng rối động học k và hệ số tổn thất ε như sau [51]:

$$\begin{cases} \frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \\ \frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \varepsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon \end{cases} \quad (2.50)$$

Trong đó: G_k - là hằng số thể hiện sự phụ thuộc của sự hình thành năng lượng rối động học (k) vào sự biến thiên của vận tốc trung bình như sau [51]:

$$G_k = -\rho \overline{u'_i u'_j} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad (2.51)$$

- G_b xác định như sau:
$$G_b = \beta g_i \frac{\mu_i}{Pr_i} \frac{\partial T}{\partial x_i} \quad (2.52)$$

Với Pr_i - hằng số Prantl; g_i - thành phần gia tốc trọng trường theo phương i ; β - hệ số giãn nở nhiệt của môi trường.

- Y_M : hệ số thể hiện sự biến thiên của quá trình giãn nở so với giá trị trung bình:

$$Y_M = 2\rho\varepsilon M_t^2 \quad (2.53)$$

Với số Mach của rôi $M_t = \sqrt{\frac{k}{c^2}}$ (c: vận tốc âm thanh);

- Hệ số nhớt rôi: $\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$

- Các hệ số còn lại là các hằng số, các giá trị mặc định như sau [43]:

$$C_{1\varepsilon} = 1.44; C_{2\varepsilon} = 1.92; C_\mu = 0.09; \sigma_k = 1.0; \sigma_\varepsilon = 1.3$$

Kết hợp các phương trình trên sẽ khép kín bài toán để xác định các ẩn cần tìm, mô hình $k - \varepsilon$ là tiện lợi và cho kết quả khá chính xác.

Và các phương trình cơ bản để áp dụng phương pháp tính động lực học chất lỏng bằng phần mềm Ansys Fluent như sau [30]:

$$\frac{D\rho}{Dt} = \rho \nabla \cdot V_x = 0 \quad (2.54)$$

Trong đó: $\frac{D\rho}{Dt} = \frac{d\rho}{dt} + V_x \nabla \rho$ là đạo hàm khối lượng riêng theo thời gian

Phương trình bảo toàn động lượng (phương trình chuyển động) [30]:

$$\rho \frac{DV_x}{Dt} = -\nabla p - \nabla T + p \cdot f \quad (2.55)$$

Phương trình bảo toàn năng lượng (phương trình nhiệt độ) [30]:

$$\rho C_p \frac{DT}{Dt} = \frac{Dp}{dt} - \nabla p - \varphi \quad (2.56)$$

Công thức tính góc phun θ của tia phun nhiên liệu theo công thức thực nghiệm Reitz-Diwakar sau [51]:

$$\tan \theta = A_1 \left(\rho / \rho_l \right)^{1/3} Re_l^{1/3} We_l^{A_2} \quad (2.57)$$

Trong đó: $Re_l = \frac{VD\rho_l}{\mu}$; $We_l = \frac{V^2 D \rho_l}{\sigma}$ $A_1 = \begin{cases} 0,0001(L/D)^5 & \text{khi } L/D < 6 \\ 0,7 & \text{khi } L/D > 6 \end{cases}$; $A_2 = \frac{3-L/D}{3L/D}$

2.6. Cơ sở lý thuyết để hiệu chỉnh HTPNL khi sử dụng hỗn hợp nhiên liệu dầu thực vật - diesel nhằm đạt chỉ tiêu kinh tế và môi trường

Các kết quả nghiên cứu của các tác giả trong và ngoài nước đều chỉ ra rằng: khi sử dụng nhiên liệu hỗn hợp đều cho thấy sự tác động mang tính tiêu cực đến HTPNL của động cơ diesel tàu thủy. Nhiên liệu hỗn hợp làm thay đổi thời điểm phun, lưu lượng và áp suất phun. Bên cạnh đó, nhiên liệu hỗn hợp còn làm cho đặc tính vĩ mô và vi mô của tia phun nhiên liệu thay đổi theo chiều hướng xấu đi như: chiều dài tia phun nhiên liệu lớn hơn (nguy cơ va đập đỉnh piston và thành vách xy lanh), góc phun hẹp hơn và kích thước hạt nhiên liệu lớn hơn đã làm ảnh hưởng đến chất lượng phun sương và trị số Cetan của nhiên liệu hỗn hợp lớn hơn là các nguyên nhân làm cho nhiên liệu hỗn hợp có thời điểm bắt đầu cháy sớm hơn so với nhiên liệu truyền thống DO.

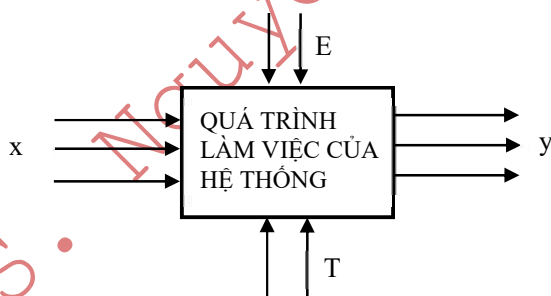
Trước các vấn đề như vậy, nhằm làm cho việc sử dụng hỗn hợp nhiên liệu dầu cò-diesel thật sự hiệu quả đối với động cơ diesel tàu thủy, nhất thiết phải thực hiện nhiều hiệu chỉnh đối với HTPNL, thậm chí có những vấn đề cần phải thiết kế và chế tạo lại (đầu vòi phun và lỗ phun chẳng hạn). Trong khuôn khổ nội dung của luận án, các điều kiện về thời gian, qui mô, cũng như kinh phí không cho phép NCS đưa ra các giải pháp hiệu chỉnh hoặc cải tiến một cách hoàn chỉnh HTPNL. Vì vậy, luận án chỉ đề xuất giải pháp hiệu chỉnh không tác động nhiều đến HTPNL, có thể thực hiện trong tầm tay đối với người khai thác vận hành động cơ, đạt hai mục tiêu về tính kinh tế và môi trường.

Để hiệu chỉnh thành công HTPNL đáp ứng mục tiêu sử dụng nhiên liệu hỗn hợp dầu cò - diesel một cách hiệu quả là vấn đề không đơn giản. Đối với động cơ 6LU32, hệ thống nhiên liệu đã được thiết kế và chế tạo để sử dụng nhiên liệu DO làm nhiên liệu chính. Vậy vấn đề được đặt ra là hiệu chỉnh HTPNL của động cơ này theo hướng gì và áp dụng giải pháp nào? Trên cơ sở về ảnh hưởng của nhiên liệu hỗn hợp đến HTNL động cơ diesel, cùng với những đòi hỏi đáp ứng các tiêu chuẩn về môi trường của IMO, mục tiêu hiệu chỉnh HTPNL nhằm đạt các vấn đề sau:

- Khắc phục cơ bản những ảnh hưởng tiêu cực của nhiên liệu hỗn hợp đến tính kinh tế của động cơ hay hiệu suất làm việc của động cơ;
- Đáp ứng cơ bản các tiêu chuẩn phát thải khí NO_x như được nêu tại Phụ lục VI, MARPOL 73/78;

- Về cơ bản không thay đổi các kết cấu của hệ thống nhiên liệu sẵn có của động cơ diesel và có thể thực hiện ngay tại tàu.

Để giải quyết vấn đề này, phương pháp qui hoạch thực nghiệm được lựa chọn để áp dụng trong quá trình tìm ra các thông số hiệu chỉnh tối ưu đối với HTPNL nhằm đảm bảo khi sử dụng hỗn hợp nhiên liệu dầu thực vật - diesel thay thế nhiên liệu truyền thống, nhưng động cơ diesel thủy vẫn đáp ứng các chỉ tiêu về môi trường và kinh tế. Về tổng quan, qui hoạch thực nghiệm là cơ sở lý luận của nghiên cứu thực nghiệm hiện đại, trong đó công cụ toán học giữ vai trò tích cực. Cơ sở toán học được áp dụng trong qui hoạch thực nghiệm bao gồm toán học xác suất thống kê với hai lĩnh vực chủ yếu đó là phân tích phương sai và phân tích hồi qui. Qui hoạch thực nghiệm thường được áp dụng rất hiệu quả để nghiên cứu thực nghiệm đối với các ngành công nghệ. Nhờ phương pháp này, người nghiên cứu có thể chưa hiểu biết đầy đủ về đối tượng, nhưng nhờ một số thông tin thông qua các kết quả thực nghiệm, có thể tiên lượng được qui luật phụ thuộc giữa các thông số biến đổi và tính chất của đối tượng. Trên thực tế, hoạt động của các hệ thống công nghệ có thể được coi như “hộp đen” với các tín hiệu đầu vào, đầu ra và các nhiễu loạn như được biểu thị tại Hình 2.5 [8].



Hình 2. 5. Sơ đồ đối tượng nghiên cứu theo qui hoạch thực nghiệm

Ở đây, các tín hiệu đầu vào được chia thành 3 nhóm:

- Các biến kiểm tra được và điều khiển được bởi người nghiên cứu theo dự định và được biểu diễn bằng véc tơ:

$$x = [x_1, x_2, \dots, x_k] \quad (2.58)$$

- Các biến kiểm tra được nhưng không điều khiển được, biểu diễn bằng véc tơ:

$$T = [T_1, T_2, \dots, T_h] \quad (2.59)$$

- Các biến không kiểm tra được, cũng như không điều khiển được và được biểu diễn bằng véc tơ:

$$E = [\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k] \quad (2.60)$$

Các tín hiệu đầu ra dùng để đánh giá đối tượng là các véc tơ y và:

$$y = [y_1, y_2, \dots, y_q] \quad (2.61)$$

Các tín hiệu ra này thường được gọi là các hàm mục tiêu và biểu diễn hình học của các hàm mục tiêu được gọi là bề mặt đáp ứng.

Phương pháp toán học được áp dụng để xử lý số liệu từ kế hoạch thực nghiệm là phương pháp thống kê. Vì vậy, các mô hình biểu thị hàm mục tiêu chính là các mô hình thống kê thực nghiệm. Trong tập hợp các mô hình thống kê khác nhau, mô hình được quan tâm nhất trong thực tế là mô hình phân tích hồi qui và được biểu thị bằng quan hệ tổng quát sau:

$$y = \varphi(x_1, x_2, \dots, x_k; T_1, T_2, \dots, T_h; \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k) + e = \varphi[(x, T); \beta] + e \quad (2.62)$$

Trong đó $\beta = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k)$ là các véc tơ tham số của mô hình hay là các hệ số; còn e là các nhiễu loạn hay sai số.

Trên thực tế, hàm φ được ấn định trước, còn các hệ số β là ẩn số cần được xác định thông qua thực nghiệm. Để xác định được các tham số này, các thực nghiệm cần phải được qui hoạch trên cơ sở toán học. Theo Montgomery, thí nghiệm là một quá trình kiểm nghiệm hay một chuỗi các kiểm nghiệm mà trong đó, các thông số đầu vào của một quá trình hay hệ thống được thay đổi một cách có chủ đích. Các thay đổi ở các kết quả đầu ra của hệ thống hay quá trình sẽ được quan sát, ghi nhận để sau đó phân tích, xác định các nguyên nhân, quan hệ giữa đầu vào và đầu ra của hệ thống, quá trình hay đối tượng thí nghiệm.

Áp dụng để nghiên cứu hiệu chỉnh động cơ diesel thủy hoạt động với loại nhiên liệu mới, các yếu tố như giá trị GPS, áp suất phun, tỉ lệ phần trăm dầu thực vật trong hỗn hợp có thể được xử lý như các biến số đầu vào; còn chất lượng phun nhiên liệu, hiệu suất động cơ được đặc trưng bằng chỉ tiêu kinh tế (suất tiêu thụ nhiên liệu g_e) và môi trường (nồng độ phát thải NO_x) có thể được xem xét như thông số của đầu ra. Để đảm bảo duy trì động cơ hoạt động bình thường, có thể tiến hành nghiên cứu bằng các thí nghiệm được tiến hành ngay trên động cơ và thiết bị trong phòng thí nghiệm chuyên ngành. Bằng cách thay đổi các thông số GPS, áp suất phun, tỉ lệ phần trăm dầu thực vật trong hỗn hợp theo một kế hoạch cụ thể, NCS có thể dễ dàng xác định quan hệ giữa chúng với chỉ tiêu kinh tế và môi trường. Rõ ràng, nếu không lập kế hoạch trước, ta khó có thể hình dung sẽ thay đổi từng thông số như thế nào; liệu kết quả đã tin cậy hay có thể rà soát hết được các tập hợp

giá trị các thông số đầu vào hay chưa, liệu rằng giá trị GPS có ảnh hưởng đến chỉ tiêu kinh tế và môi trường hay không?

Sử dụng phương pháp bình phương nhỏ nhất để lập công thức thực nghiệm, nghĩa là tìm mối quan hệ hàm số giữa hai đại lượng x và y. Căn cứ vào các công thức (2.62) cho thấy, y thể hiện các chỉ tiêu g_e , NO_x ; x thể hiện thông số: áp suất phun, GPS và loại dầu PO. Tương quan giữa x và y như trình bày trên Bảng 2.1.

Bảng 2.1. Tương quan giữa x và y trong hàm hồi quy thực nghiệm

x	x_1	$x_2 \dots$	$x_i \dots$	x_n
y	y_1	$y_2 \dots$	$y_i \dots$	y_n

Từ bảng trên lập ra mối quan hệ hàm số $y = f(x)$ cụ thể gọi là lập công thức thực nghiệm. Vậy đối với một động cơ diesel cụ thể cần nguyên cứu, mô hình phân tích hồi qui áp dụng trong quá trình thực nghiệm như sau [23]:

$$y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \pm \varepsilon \quad (2.63)$$

Trong đó: y-biến phụ thuộc, f-hàm phản ứng, x_i -các biến phụ thuộc và ε -lỗi phù hợp.

Việc tìm ra hàm số $f(x)$ chỉ là gần đúng, tìm hàm số xấp xỉ của hàm số $f(x)$ bằng phương pháp bình phương nhỏ nhất sẽ rất phức tạp nếu không biết trước dạng của hàm số xấp xỉ. Một trong các hàm số xấp xỉ thường dùng trong các bài toán thực nghiệm có dạng :

$$y = ax + b \quad (2.64)$$

$$y = ax^2 + bx + c \quad (2.65)$$

Căn cứ vào quy luật thay đổi chỉ tiêu kinh tế và môi trường khi thay đổi các thông số áp suất phun, GPS và loại dầu PO từ kết quả nghiên cứu mô phỏng, chọn hàm hồi quy có dạng:

$$y = ax^2 + bx + c. \text{ Sai số: } v_i = (ax^2 + bx + c) - y_i \text{ với } i = 1, 2, \dots, n \quad (2.66)$$

Lập bảng tính như sau:

Bảng 2.2. Phương pháp tính tổng của x và y trong hàm hồi quy thực nghiệm

n	x_i	y_i	x_i^2	x_i^3	x_i^4	$x_i y_i$	$x_i y_i^2$
1							
2							
...							
n							
Σ	Σx_i	Σy_i	Σx_i^2	Σx_i^3	Σx_i^4	$\Sigma x_i y_i$	$\Sigma x_i y_i^2$

Để tổng các bình phương của các sai số trên là nhỏ nhất:

$$S = \sum_{i=1}^n v_i^2 = \sum_{i=1}^n (ax_i^2 + bx_i + c - y_i)^2 \rightarrow \min \quad (2.67)$$

Như vậy: a, b, c phải thỏa mãn hệ phương trình:

$$\begin{cases} \frac{\partial S}{\partial a} = 0 \\ \frac{\partial S}{\partial b} = 0 \\ \frac{\partial S}{\partial c} = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \frac{\partial S}{\partial a} = 2 \sum_{i=1}^n (ax_i^2 + bx_i + c - y_i) x_i^2 = 0 \\ \frac{\partial S}{\partial b} = 2 \sum_{i=1}^n (ax_i^2 + bx_i + c - y_i) x_i = 0 \\ \frac{\partial S}{\partial c} = 2 \sum_{i=1}^n (ax_i^2 + bx_i + c - y_i) = 0 \end{cases} \quad (2.68)$$

Rút gọn hệ phương trình (2.68) được hệ phương trình chính tắc sau:

$$\begin{cases} a \sum_{i=1}^n x_i^4 + b \sum_{i=1}^n x_i^3 + c \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i \\ a \sum_{i=1}^n x_i^3 + b \sum_{i=1}^n x_i^2 + c \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n x_i y_i \\ a \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i + nc = \sum_{i=1}^n y_i \end{cases} \quad (2.69)$$

Trong hệ phương trình (2.69), để xác định hàm hồi quy cho các đường đặc tính gồm chỉ tiêu kinh tế g_e , chỉ tiêu môi trường NO_x mà trục hoành là áp suất phun, GPS và %PO thì n là số điểm điều chỉnh góc phun sớm, x_i là giá trị góc phun sớm của từng điểm điều chỉnh. Trục tung y có giá trị y_i tương ứng với mỗi điểm điều chỉnh x_i .

Bằng phương pháp trên kết hợp với số liệu thực nghiệm thu được (xem Phụ lục 2, 3), lập và giải hệ phương trình (2.69) sẽ tìm được các hệ số a, b, c. Thế các giá trị a, b, c vào hàm hồi quy (2.65), xác định được hàm hồi quy thực nghiệm. Các đường đặc tính phản ánh chỉ tiêu kinh tế và môi trường chính là hàm hồi quy đã tìm được. Các hàm hồi quy này thể hiện quy luật biến thiên của suất tiêu hao nhiên liệu và phát thải NO_x khi thay đổi các thông số áp suất phun, GPS và loại dầu PO. Để đánh giá độ tin cậy của các hàm hồi quy tìm được từ kết quả thực nghiệm, sử dụng hệ số xác định R^2 :

$$R^2 = \frac{\hat{\beta}_2^2 \sum_{i=1}^n x_i^2}{\sum_{i=1}^n y_i^2} \quad (2.70)$$

với:

$$\hat{\beta}_2 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i x_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2} \quad (2.71)$$

Tính chất của hệ số R^2 sẽ cho biết % sự biến động của y được giải thích bởi các biến số x trong hàm hồi quy. Trong kỹ thuật, thông thường $R^2 \geq 0,95$ sẽ phản ánh quy luật biến thiên của kết quả thực nghiệm có dạng theo hàm hồi quy tìm được.

Như đặt vấn đề ở trên, mục tiêu hiệu chỉnh động cơ diesel thủy khi sử dụng nhiên liệu hỗn hợp dầu thực vật - diesel làm nhiên liệu thay thế là đạt được tối ưu về chỉ tiêu môi trường và kinh tế. Như vậy việc áp dụng qui hoạch thực nghiệm để tìm ra các thông số hiệu chỉnh tối ưu chính là phương pháp qui hoạch thực nghiệm cực trị. Trên cơ sở các vấn đề đã phân tích, nhằm đạt được mục tiêu nghiên cứu tốt nhất, NCS lựa chọn “Phương pháp bề mặt đáp ứng” để nhanh chóng và hiệu quả tiếp cận vùng lân cận của tối ưu. Với phương pháp này, một mô hình toán học cần được xây dựng dưới dạng một hàm mục tiêu. Trong trường hợp này, để tối ưu hóa phát thải khí độc hại và suất tiêu thụ nhiên liệu của động cơ diesel tàu thủy, hàm mục tiêu $f(x)$ sẽ được áp dụng bằng cách xác định tỉ lệ % thể tích dầu cọ trong hỗn hợp với dầu diesel và thông số phun hợp lý (GPS, áp suất nâng kim phun) theo chỉ tiêu kinh tế và môi trường như sau [8, 49]:

$$f(x) = \text{Merit} = \frac{1000}{\left(\frac{NO_x}{NO_{x,g}}\right)^2 + \left(\frac{g_e}{g_{e,g}}\right)} \quad (2.72)$$

Trong đó: $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ là các biến (thời điểm bắt đầu phun - SOI, áp suất nâng kim phun (p_{inj}), tỉ lệ pha trộn của dầu thực vật (%PO); NO_x – mức phát thải đo được; g_e - suất tiêu hao nhiên liệu; $NO_{x,g}$ - mức tiêu mức phát thải NO_x ; $g_{e,g}$ - mức tiêu suất tiêu hao nhiên liệu.

Dựa trên phương trình (2.72), ở phần hiệu chỉnh động cơ diesel cụ thể, bằng phương pháp qui hoạch thực nghiệm với giải pháp bề mặt đáp ứng để tìm các thông số hiệu chỉnh tối ưu và các thông số hiệu chỉnh như: thời điểm bắt đầu phun, áp suất phun và tỉ lệ pha trộn dầu thực vật sẽ được xác lập.

2.7. Kết luận chương 2

Với các cơ sở lý thuyết về phun nhiên liệu, về chu trình công tác và phát thải NO_x của động cơ diesel, nội dung Chương 2 đã phân tích, dẫn chứng khoa học, mô tả ảnh hưởng của đặc tính nhiên liệu tới các đặc tính vi mô và vĩ mô của quá trình phun nhiên liệu để đưa ra các công thức toán học (2.3, 2.6, 2.7, 2.13) đánh giá các thông số chính của đặc tính phun nhiên liệu vào buồng đốt động cơ diesel như: chiều dài phân rã sơ cấp, góc tia phun, chiều dài tia phun và đường kính trung bình hạt nhiên liệu; các công thức (2.23, 2.25, 2.39, 2.45, 2.47) đánh giá ảnh hưởng của đặc tính nhiên liệu đến các thông số công tác của quá trình phun nhiên liệu như thời điểm phun và thời gian cháy trễ, đến lưu lượng và áp suất phun, đến sự hình thành NO_x trong khí thải của động cơ diesel thông qua các quan hệ toán học.

Những yếu tố này là cơ sở khoa học đưa ra giải pháp xác định tỉ lệ % thể tích dầu cọ trong hỗn hợp với dầu diesel và thông số phun hợp lý (áp suất nâng kim phun, GPS) theo chỉ tiêu kinh tế và môi trường của động cơ diesel tàu thủy khi chuyển sang sử dụng hỗn hợp nhiên liệu dầu cọ - dầu diesel (công thức 2.72) bằng phương pháp qui hoạch thực nghiệm.

Đã trình bày được cơ sở lý thuyết mô phỏng số quá trình phun và hòa trộn – cháy nhiên liệu hỗn hợp dầu cọ - diesel trong động cơ diesel là lý thuyết CFD với phần mềm chuyên nghiệp Ansys Fluent.

Theo đó, nội dung chương 2 đã hoàn thành mục tiêu được nêu ra trong Bảng 1.6 khi xác định được các công thức toán học để khảo sát ảnh hưởng của đặc tính hỗn hợp nhiên liệu dầu cọ - diesel đến chất lượng phun nhằm mục tiêu đưa ra cơ sở lý thuyết phương pháp qui hoạch thực nghiệm khi đề xuất giải pháp hiệu chỉnh thích hợp HTPNL sử dụng hỗn hợp dầu thực vật - diesel (%PO, GPS, áp suất nâng kim phun) hợp lý cho động cơ diesel tàu thủy hoạt động ổn định, đạt chỉ tiêu kinh tế (g_e), môi trường (NO_x).

CHƯƠNG 3. NGHIÊN CỨU LÝ THUYẾT ẢNH HƯỞNG CỦA HỖN HỢP NHIÊN LIỆU DẦU THỰC VẬT - DIESEL ĐẾN HỆ THỐNG PHUN NHIÊN LIỆU ĐỘNG CƠ DIESEL TÀU THỦY

Để đạt được mục tiêu nghiên cứu ảnh hưởng của nhiên liệu hỗn hợp đến chất lượng phun nhiên liệu của HTPNL động cơ diesel tàu thủy, công việc đầu tiên và không kém phần quan trọng cần phải thực hiện là áp dụng các mô hình lý thuyết để tìm ra những tác động của nhiên liệu mới (nhiên liệu hỗn hợp) đến chất lượng phun nhiên liệu. Như ở Chương 2 đã đề cập, HTPNL của động cơ diesel thủy có cấu tạo bao gồm nhiều thành phần khác nhau, mỗi thành phần đều có chức năng và tầm quan trọng nhất định. Trong khuôn khổ của luận án, NCS không có điều kiện để đánh giá ảnh hưởng của nhiên liệu hỗn hợp đến từng thành phần một, mà chỉ chọn những thành phần chịu sự tác động của nhiên liệu hỗn hợp và sau đó gây ảnh hưởng trực tiếp, có tính quyết định đến quá trình cháy của nhiên liệu trong buồng đốt và cuối cùng là công suất, hiệu suất của động cơ. Thành phần của HTPNL được lựa chọn chính là vòi phun. Bản thân vòi phun là chi tiết rất đặc trưng của HTPNL, vòi phun cũng quyết định sự hình thành tia phun nhiên liệu với chất lượng tốt hay không tốt và tiếp theo sẽ ảnh hưởng đến hiệu suất cháy của nhiên liệu.

Trong Chương 3 trên cơ sở lý thuyết đặc tính vĩ mô và vi mô quá trình hình thành tia phun nhiên liệu trong buồng đốt của động cơ diesel thủy, NCS đánh giá sự ảnh hưởng của loại nhiên liệu mới (nhiên liệu hỗn hợp) đến đặc tính tia phun, đến thời điểm bắt đầu cấp nhiên liệu và thời gian cháy trễ của nhiên liệu; lưu lượng phun. Tiếp theo, NCS áp dụng phần mềm mô phỏng chuyên nghiệp để làm rõ thêm bằng hình ảnh trường phân bố vận tốc, áp suất, năng lượng động năng rời của nhiên liệu khi đi qua lỗ phun hẹp dưới áp suất phun cao; sự phân bố áp suất trong quá trình hòa trộn, phân bố nhiệt độ và vận tốc cháy. Các kết quả mô phỏng sẽ khẳng định thêm những tác động của nhiên liệu hỗn hợp đến chất lượng phun nhiên liệu, hòa trộn - cháy của HTPNL của động cơ diesel tàu thủy.

3.1. Đánh giá ảnh hưởng của nhiên liệu hỗn hợp đến đặc tính tia phun nhiên liệu

Như đã đề cập, chất lượng của tia phun nhiên liệu vào buồng đốt của động cơ diesel sẽ quyết định hiệu suất cháy khi động cơ diesel làm việc. Khi sử dụng loại nhiên liệu khác thay thế nhiên liệu truyền thống (đã được lựa chọn cho loại động cơ nhất định) sẽ làm cho đặc tính tia phun bị thay đổi. Nói về sự ảnh hưởng của nhiên liệu hỗn hợp đến HTPNL chính là đề cập đến sự thay đổi của đặc tính tia phun khi cho động cơ diesel sử dụng loại nhiên liệu này, nhưng không có bất kỳ tác động hiệu chỉnh nào đến HTPNL.

Đặc tính của tia phun nhiên liệu đã được nhiều tài liệu đề cập đến và được thể hiện thông qua đặc tính vĩ mô (chiều dài tia phun, góc nón tia phun và chiều dài phân rã sơ cấp) và đặc tính vi mô (kích thước hạt nhiên liệu trong chùm tia phun).

3.1.1. Các thông số kỹ thuật cần thiết để tính toán

Đối tượng được lựa chọn để nghiên cứu của luận án là động cơ diesel tàu thủy Hanshin 6LU32. Các thông số kỹ thuật cần thiết của động cơ phục vụ mục đích nghiên cứu như được thể hiện trên Bảng 3.1.

Nhiên liệu nghiên cứu gồm DO, PO10, PO20, PO30 và PO100 có các tính chất lý hóa cần thiết như trong Bảng 1.5 Chương 1.

Bảng 3.1. Các thông số kỹ thuật của động cơ diesel Hanshin 6LU32 [20]

STT	Thông số kỹ thuật	Đơn vị	Giá trị
1.	Số xy lanh	Cái	6
2.	Công suất định mức	kW	970
3.	Vòng quay định mức	v/p	340
4.	Đường kính xy lanh	mm	320
5.	Hành trình piston	mm	510
6.	Tốc độ trung bình piston	m/s	5,78
7.	Chiều cao buồng đốt	mm	65
8.	Đường kính đầu kim phun (đường kính khoang chứa nhiên liệu đầu vòi phun)	mm	5,4
9.	Đường kính thân kim phun	mm	8,1
10.	Góc nón đầu kim phun	độ	130

11.	Chiều dài thân kim phun	mm	59,5
12.	Đường kính lỗ phun hình trụ d_o	mm	0,42
13.	Chiều dài lỗ phun	mm	3,1
14.	Số lỗ phun	Cái	10
15.	Vận tốc phun	m/s	30
16.	Bán kính đường cong cửa vào lỗ phun r_o	mm	30
17.	Áp suất nâng kim phun	bar	280
18.	Áp suất phun lớn nhất	bar	800
19.	Áp suất không khí nén bên trong xy lanh	bar	60
20.	GPS	Độ GQTK	11 ⁰ trước ĐCT
21.	Suất tiêu hao nhiên liệu định mức	g/kW.h	200
22.	Áp suất cháy lớn nhất	bar	90
23.	Chiều dài đường ống cao áp	mm	1270
24.	Đường kính piston BCA	mm	25
25.	Hành trình BCA	mm	29
26.	Vận tốc piston	mm/ ⁰ GQTK	0,20

• **Một số lưu ý đối với động cơ thử nghiệm 6LU32:**

- Đây là loại động cơ diesel thủy được sử dụng như động cơ chính lai chân vịt và có thể chạy được bằng hai loại nhiên liệu: DO và HFO;
- Động cơ hiện đã có tuổi đời tương đối cao (trên 30 tuổi), đã từng được lắp đặt trên con tàu có trọng tải trên 3000DWT và khi con tàu hết thời gian khai thác, động cơ được đưa về Trung tâm thí nghiệm hệ động lực tàu thủy làm đối tượng nghiên cứu và giảng dạy;
- Do động cơ sử dụng nhiều năm, tuy đã được thay thế phụ tùng quan trọng như bơm cao áp, vòi phun, xéc măng... nhưng hiện tại động cơ không thể hoạt động được ở chế độ định mức như được nêu tại Bảng 3.1. Theo chỉ dẫn của Trung tâm thí nghiệm hệ động lực, động cơ có thể hoạt động ở chế độ tải ngoài cao nhất 600kW ứng với vòng quay 273v/p. Vì vậy, để đảm bảo sự đồng bộ giữa nghiên cứu lý thuyết và nghiên cứu thực nghiệm sau này, NCS lấy chế độ tải ngoài 600kW như là tải định mức tham chiếu.

Bảng 3.2. Các thông số phục vụ tính toán [14, 20, 35, 65]

STT	Ký hiệu	Giải thích	Đơn vị	Giá trị
1.	p_i	Áp suất phun	Bar	280
2.	p_g	Áp suất chất khí công tác	Bar	60
3.	$\Delta p = p_i - p_g$	Sự chênh lệch áp suất	Bar	
4.	p_o	Áp suất môi trường	Bar	1
5.	μ_g	Độ nhớt động học chất khí	Ns/m ²	0,00018
6.	μ_l	Độ nhớt động học nhiên liệu	Ns/m ²	Bảng 1.5
7.	ρ_g	Khối lượng riêng chất khí công tác	kg/m ³	0,00129
8.	ρ_l	Khối lượng riêng nhiên liệu	kg/m ³	Bảng 1.5
9.	σ	Sức căng bề mặt nhiên liệu	N/m	Bảng 1.5
10.	t_{inj}	Thời gian phun	ms	Công thức (2.2)
11.	d_o	Đường kính lỗ phun	mm	0,42
12.	D_o	Đường kính khoang hình trụ chứa đầu vòi phun	mm	5,4
13.	U_o	Vận tốc trung bình của nhiên liệu ở giai đoạn bắt đầu phun	m/s	30
14.	r_o	Bán kính đường cong cửa vào lỗ phun	mm	30
15.	Re_l	Hệ số Reynold $Re_l = \frac{ud}{\nu} = \frac{ud\rho}{\mu}$		
16.	We_l	Hệ số Weber $We_l = \frac{\rho u^2 d}{\sigma}$		

3.1.2. Kết quả tính toán về đặc tính tia phun

Để có được các kết quả nghiên cứu về đặc tính tia phun nhiên liệu đối với động cơ diesel thủy 6LU32, các công thức (2.3), (2.6), (2.7) và (2.13) đã được lựa chọn để sử dụng tính toán. Phương pháp tính được áp dụng ở đây do không phải là bài toán phức tạp, nên NCS áp dụng bảng tính Excel.

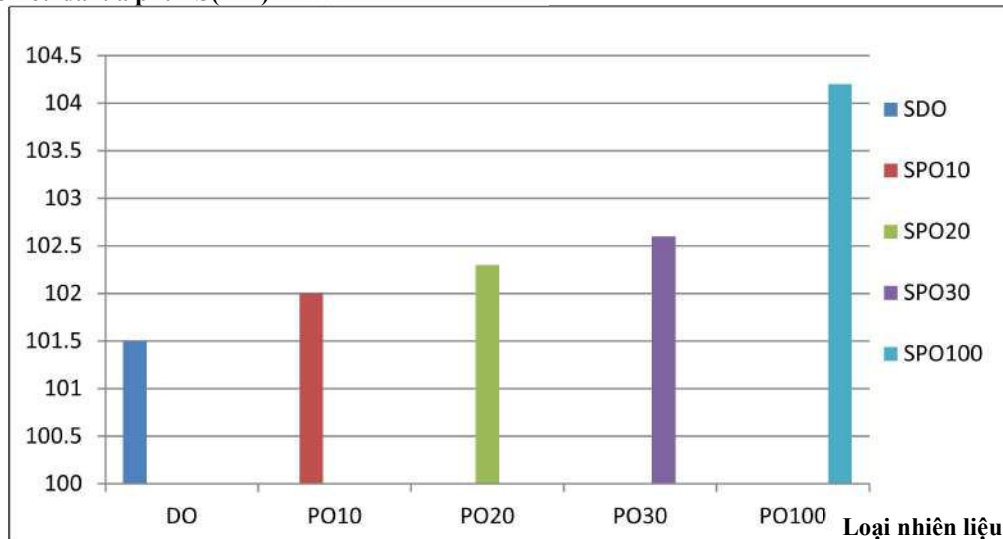
3.1.2.1. Kết quả tính toán về đặc tính vĩ mô của tia phun

Trên Bảng 3.3 thể hiện kết quả tính toán đặc tính vĩ mô của tia phun nhiên liệu của nhiên liệu truyền thống DO và của 4 loại nhiên liệu PO, đặc tính phun tia của các loại nhiên liệu này ở cùng các điều kiện như: HTPNL, GPS, nhiệt độ hâm đến 40°C, độ nhớt động học của nhiên liệu trước khi phun, áp suất phun, áp suất trong buồng đốt động cơ diesel 6LU32. Các Hình từ 3.1 đến Hình 3.3 cho thấy sự khác biệt của các thông số này đối với 5 loại nhiên liệu khác nhau.

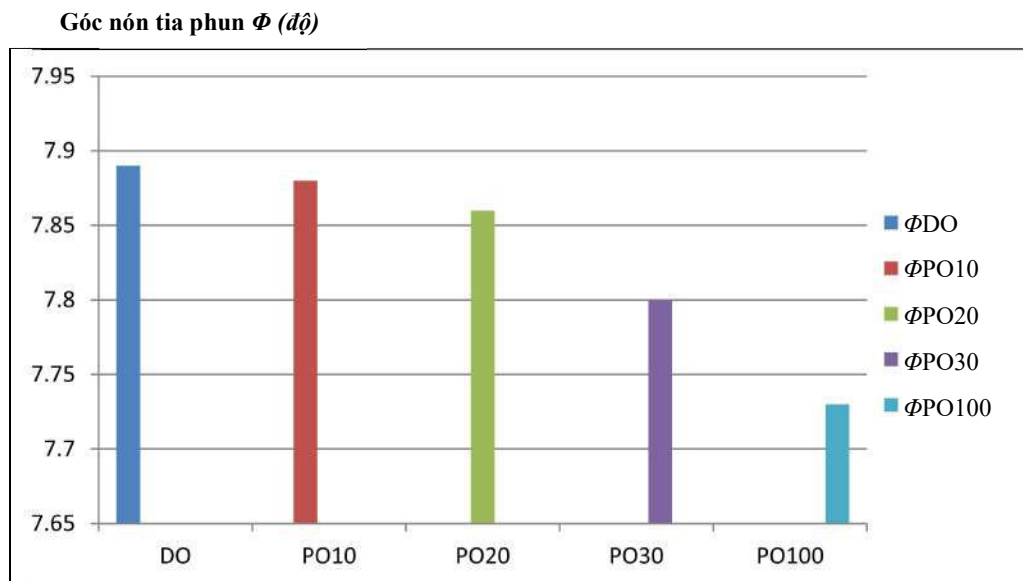
Bảng 3.3. Đặc tính vĩ mô của tia phun

STT	Đặc tính vĩ mô của tia phun	Loại nhiên liệu				
		DO	PO10	PO20	PO30	PO100
1	Chiều dài tia phun S (mm)	101,5	102,0	102,3	102,6	104,2
2	Góc nón tia phun Φ (độ)	7,89	7,88	7,86	7,80	7,73
3	Chiều dài phân rã sơ cấp L_b (mm)	15,719	15,712	15,707	15,70	15,652

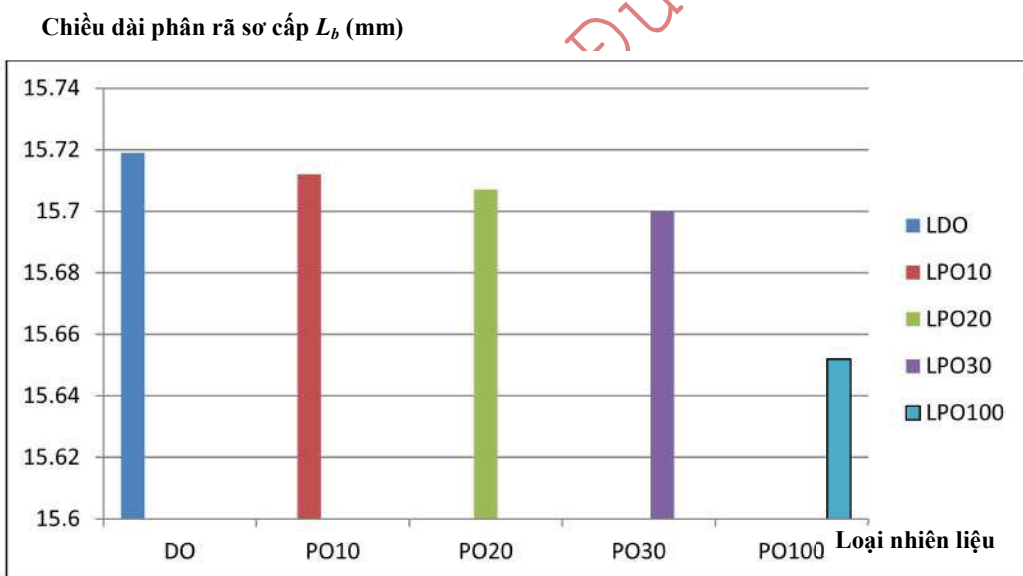
Chiều dài tia phun S (mm)



Hình 3.1. Đặc tính chiều dài tia phun S của các loại nhiên liệu



Hình 3.2. Đặc tính góc nón tia phun Φ đối với các loại nhiên liệu



Hình 3.3. Đặc tính chiều dài phân rã sơ cấp L_b của các loại nhiên liệu

Từ các dữ liệu tại Bảng 3.3 và các đồ thị từ Hình 3.1 đến Hình 3.3 đều cho thấy sự khác biệt của đặc tính tia phun nhiên liệu của nhiên liệu hỗn hợp so với nhiên liệu truyền thống DO. Tỷ lệ dầu thực vật (dầu cọ) trong nhiên liệu hỗn hợp càng lớn, sự khác biệt của đặc tính vĩ mô tia phun nhiên liệu sẽ càng nhiều.

3.1.2.2. Kết quả tính toán về đặc tính vi mô của tia phun

Như đã đề cập ở trên, đặc tính vi mô tia phun nhiên liệu được thể hiện bằng

kích thước hạt nhiên liệu và sự phân bố hạt nhiên liệu trong chùm tia phun nhiên liệu ở bên trong buồng đốt của động cơ diesel. Nhằm đánh giá đặc tính vi mô của tia phun nhiên liệu đối với nhiên liệu hỗn hợp so với nhiên liệu DO, NCS đã sử dụng công thức (2.13) để tính toán đường kính trung bình Sauters của các loại nhiên liệu. Các điều kiện ngoại biên được áp dụng trong quá trình nghiên cứu tương tự như điều kiện làm việc của động cơ được lựa chọn để thử nghiệm (động cơ 6LU32) ở chế độ tải định mức. Các kết quả thu được trong quá trình nghiên cứu thể hiện tại Bảng 3.4.

Bảng 3.4. Đường kính trung bình của hạt nhiên liệu SMD

Đặc tính vi mô của tia phun nhiên liệu	Loại nhiên liệu				
	DO	PO10	PO20	PO30	PO100
Đường kính trung bình Sauters của hạt nhiên liệu SMD (μm)	10,13	10,16	10,17	10,18	10,22
So sánh (%) so với DO	/	+0,3	+0,39	+0,49	+0,88

Kết quả nghiên cứu về đặc tính vi mô của tia phun nhiên liệu bước đầu cho thấy đường kính trung bình hạt nhiên liệu của các loại nhiên liệu hỗn hợp đều lớn hơn so với kích thước hạt trung bình của nhiên liệu truyền thống DO. Trong số đó, kích thước hạt của dầu cơ nguyên chất PO100 là lớn nhất trong điều kiện phun như nhau đối với tất cả các loại nhiên liệu.

3.1.2.3. So sánh, đánh giá đặc tính tia phun của các loại nhiên liệu

Nghiên cứu về tia phun nhiên liệu có thể giúp đánh giá được một cách tổng thể về khả năng sử dụng nhiên liệu thay thế cho nhiên liệu truyền thống trên động cơ có sẵn một cách hiệu quả và tham gia tích cực vào bảo vệ môi trường. Thông qua nghiên cứu lý thuyết về tia phun nhiên liệu dựa trên các mô hình lý thuyết, NCS đã tìm ra được một số thông số đặc trưng cho đặc tính tia phun nhiên liệu đối với nhiên liệu truyền thống DO và các loại nhiên liệu hỗn hợp. Do động cơ diesel 6LU32 được thiết kế dùng với nhiên liệu DO, nên kết quả có được qua nghiên cứu sẽ làm “dữ liệu tiêu chuẩn” để thực hiện so sánh và đánh giá. Sau đây là những nhận xét quan trọng:

- Trước hết đề cập đến chiều dài phân rã sơ cấp L_b : theo các kết quả tính toán, chiều dài phân rã sơ cấp của nhiên liệu hỗn hợp có xu thế ngắn hơn so với nhiên liệu DO. Nguyên nhân chủ yếu là do nhiên liệu có khối lượng riêng cao hơn, khi được phun qua lỗ hẹp sẽ có tương tác với mạnh hơn với môi trường sức cản trong buồng đốt động cơ, nên tia phun ra khỏi lỗ phun ngắn hơn. Cụ thể, chiều dài phân rã sơ cấp của PO100 nhỏ hơn 0,598% so với DO và của PO20 nhỏ hơn 0,076%;

- Góc nón tia phun nhiên liệu Φ : nhiên liệu DO có góc phun lớn nhất ($7,89^\circ$) và nhiên liệu PO100 có góc phun nhỏ nhất ($7,73^\circ$). Như vậy, nhiên liệu hỗn hợp có góc phun nhỏ hơn so với DO và tỉ lệ nghịch với hàm lượng của dầu thực vật trong nhiên liệu hỗn hợp. Hiện tượng góc nón tia phun nhỏ hơn của nhiên liệu hỗn hợp được giải thích là do: thứ nhất, nhiên liệu hỗn hợp có lực liên kết giữa các hạt lớn hơn (đặc biệt là thành phần dầu thực vật), nên vận tốc bay hơi thấp hơn DO; thứ hai, nhiên liệu hỗn hợp có khối lượng riêng cao hơn, nên các hạt nhiên liệu chuyển động với vận tốc cao hơn, trong điều kiện sức cản của không khí nén và nhiệt độ trong buồng đốt không đổi, nên các hạt nhiên liệu của nhiên liệu hỗn hợp bốc hơi chậm hơn, tạo “sương” thấp hơn so với DO. Đây cũng chính là nguyên nhân góp phần làm cho tia phun nhiên liệu của nhiên liệu hỗn hợp dài hơn;

- Chiều dài tia phun nhiên liệu S : nhiên liệu hỗn hợp có độ xâm nhập chiều dài tia phun lớn hơn so với nhiên liệu tiêu chuẩn DO. Hàm lượng dầu thực vật càng lớn trong nhiên liệu hỗn hợp, thì tia phun càng dài, đặc biệt là tia phun của nhiên liệu PO100 có chiều dài lớn hơn 2,66%, trong khi đó chiều dài tia phun của nhiên liệu PO10 chỉ lớn hơn 0,49%. Điều này có nghĩa là trong cùng điều kiện áp suất phun, nhiệt độ hâm nhiên liệu, áp suất và nhiệt độ như nhau trong buồng đốt, khi sử dụng nhiên liệu hỗn hợp, chùm tia phun nhiên liệu sẽ xâm nhập vào không gian buồng đốt sâu hơn. Có hiện tượng này đối với nhiên liệu hỗn hợp là do chúng có khối lượng riêng lớn hơn, nên khi cùng được phun ra với vận tốc tương đương nhau, năng lượng của các hạt nhiên liệu có khối lượng riêng lớn hơn sẽ đi xa hơn.

- Về đặc tính vi mô của tia phun, được thể hiện thông qua đường kính trung

binh Sauters (SMD) của các hạt nhiên liệu được phun dưới dạng sương, nhiên liệu hỗn hợp có kích thước hạt nhiên liệu lớn hơn so với DO. Càng nhiều thành phần dầu cò trong nhiên liệu hỗn hợp, kích thước hạt sẽ càng lớn; nhiên liệu hỗn hợp PO10 có kích thước hạt nhiên liệu lớn hơn 0,296% so với DO và nhiên liệu PO30 có kích thước hạt lớn hơn 0,493%.

- Sự xâm nhập sâu hơn như vậy sẽ dẫn đến nguy cơ tia phun nhiên liệu có thể đập vào đỉnh piston hoặc thành vách xy lanh của động cơ.

Như vậy có thể thấy rằng, sự ảnh hưởng của hỗn hợp nhiên liệu dầu cò-diesel đến chất lượng phun nhiên liệu được đánh giá thông qua đặc tính của tia phun nhiên liệu là khá rõ ràng. Chiều dài tia phun nhiên liệu S của nhiên liệu hỗn hợp lớn hơn so với nhiên liệu tiêu chuẩn DO. Đây chính là nguy cơ khi sử dụng nhiên liệu hỗn hợp, tia phun nhiên liệu có thể va đập với đỉnh piston hoặc thành vách xy lanh của động cơ dẫn đến giảm hiệu suất cháy, tăng khả năng tạo “cốc” làm cháy đỉnh piston và tăng tiêu thụ nhiên liệu. Kích thước hạt nhiên liệu sau khi phun của nhiên liệu hỗn hợp cũng lớn hơn, vấn đề này có thể dẫn đến thay đổi thời gian cháy trễ của nhiên liệu (τ_i), có thể dẫn đến hiện tượng một lượng lớn nhiên liệu cháy trong thời kì giãn nở, thậm chí cháy trên đường ống xả.

3.1.3. Các kết quả tính toán về ảnh hưởng của nhiên liệu hỗn hợp đến thời điểm phun và thời gian cháy trễ

Thời điểm bắt đầu phun và thời gian cháy chậm (cháy trễ) τ_i của nhiên liệu của động cơ là những yếu tố rất quan trọng quyết định hiệu suất cháy của nhiên liệu trong buồng đốt cũng như hiệu suất chung và công suất của động cơ diesel. Để giải quyết vấn đề này, các mô hình lý thuyết về sự cháy trễ của nhiên liệu theo các công thức từ (2.24) đến (2.27) sẽ được áp dụng để tính toán.

3.1.3.1. Các thông số đầu vào và điều kiện ban đầu

Để phục vụ quá trình tính toán, một số thông số đầu vào cần được xác định là các thông số kỹ thuật của động cơ (Bảng 3.1), thông số của các nhiên liệu (Bảng 1.5) và một số thông số điều kiện biên khác. Chế độ làm việc của động cơ được chọn là chế độ tải 60% (600kW) ứng với vòng quay công tác là 273 v/p.

3.1.3.2. Các kết quả thu được trong quá trình tính toán

(1) Thời điểm bắt đầu phun

Đánh giá ảnh hưởng của đặc tính nhiên liệu đến thời điểm phun dựa trên các công thức (2.17), (2.20), (2.23) với các yếu tố ảnh hưởng được xác định là vận tốc âm thanh và hệ số mô-đun đàn hồi trong Bảng 3.5, các thông số của nhiên liệu ở Bảng 1.5 chương 1 và các thông số công tác cơ bản của động cơ 6LU32 ở Bảng 3.1.

Bảng 3.5. Thông số vận tốc âm thanh và hệ số mô-đun đàn hồi của nhiên liệu [70]

STT	Yếu tố ảnh hưởng tại nhiệt độ 40 ⁰ C	Loại nhiên liệu				
		DO	PO10	PO20	PO30	PO100
1	Vận tốc âm thanh, c (m/s)	1430,6	1434,8	1438,3	1444,9	1459,0
2	Hệ số mô-đun đàn hồi, K (MPa)	1398,2	1560,3	1571,6	1580,4	1641,1

Các kết quả tính toán về sự ảnh hưởng của vận tốc âm thanh hay còn gọi là vận tốc sóng lan truyền trong chất lỏng (nhiên liệu) và hệ số mô-đun đàn hồi của các loại nhiên liệu đến thời điểm bắt đầu phun nhiên liệu được thể hiện trên Bảng 3.6.

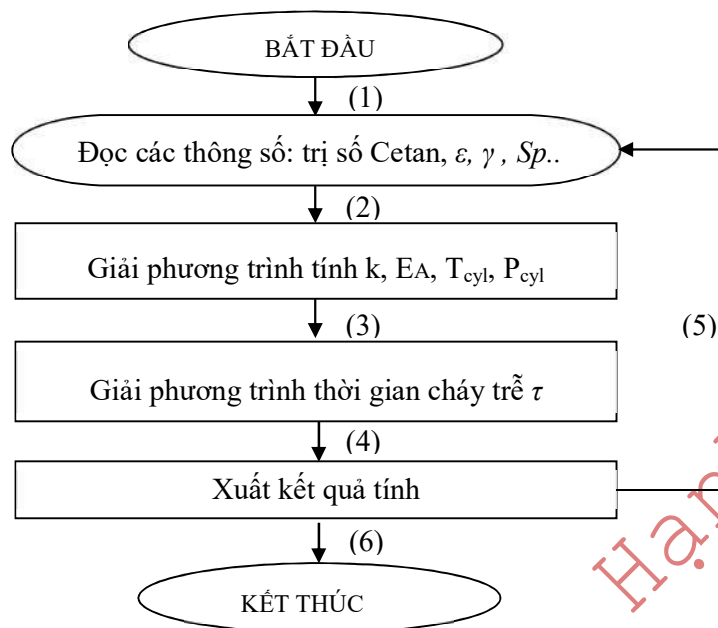
Bảng 3.6. Thời điểm bắt đầu phun của các loại nhiên liệu

STT	Thời điểm bắt đầu phun theo GQTK	Loại nhiên liệu				
		DO	PO10	PO20	PO30	PO100
1	(⁰ GQTK)	349	348,8	348,6	348,4	348
2	Chênh lệch so với DO (⁰ GQTK)	/	-0,2	-0,4	-0,6	-1,0

Kết quả tại Bảng 3.6 cho thấy nhiên liệu hỗn hợp có những tác động làm thay đổi đến thời điểm phun. Nhiên liệu hỗn hợp làm cho thời điểm phun sớm hơn so với nhiên liệu DO từ 0,2⁰GQTK (PO10), 0,4⁰ GQTK đối với PO20, 0,6⁰GQTK đối với PO30 và 1,0⁰GQTK đối với PO100.

(2) Thời gian cháy trễ

NCS đã áp dụng công thức (2.24, 2.25, 2.26, 2.27) để lập trình tính toán sự cháy trễ của nhiên liệu thông qua thuật toán để tính như trên Hình 3.4. Các kết quả tính toán về sự cháy trễ của nhiên liệu được thể hiện như trên Bảng 3.6.



Hình 3.4. Chương trình tính thời gian cháy trễ của nhiên liệu

Bảng 3.7. Kết quả tính toán về thời gian cháy trễ của các loại nhiên liệu

So sánh giữa các thông số tính toán được	Loại nhiên liệu				
	DO	PO10	PO20	PO30	PO100
Thời gian cháy trễ (0GQTK)	2,3003	2,2279	2,2181	2,2127	2,1978
So sánh với DO (0GQTK)		-0,0724	-0,0822	-0,0876	-0,1025

Dựa vào Bảng 3.7 cho thấy trong cùng một điều kiện đặt ban đầu của động cơ diesel 6LU32 (điều kiện kỹ thuật, vòng quay, tải) thì sự cháy trễ của các loại nhiên liệu so DO có sự chênh lệch: nhiên liệu hỗn hợp PO có thời gian cháy trễ ngắn hơn so với nhiên liệu DO. Nhiên liệu PO10 cháy sớm hơn so với DO là 0,0724 0GQTK , PO20 là 0,0822 0GQTK , còn nhiên liệu PO30 có sự khác biệt là 0,0876 0GQTK ; Nhiên liệu PO100 có độ cháy trễ ngắn nhất và sớm so với DO là 0,1025 0GQTK . Như vậy rõ ràng loại nhiên liệu có trị số Cetan càng lớn thì thời gian cháy trễ của nhiên liệu đó sẽ càng ngắn.

3.1.4. Kết quả tính toán về ảnh hưởng của nhiên liệu hỗn hợp đến lưu lượng phun

Áp dụng công thức (2.45) tính toán lượng nhiên liệu cấp vào động cơ ở cùng điều kiện khai thác, cùng chế độ vòng quay định mức của động cơ đối với các loại nhiên liệu khác nhau theo Bảng 1.5 Chương 1 và các thông số đầu vào theo Bảng 3.8 cho kết quả trên Bảng 3.9 (tính đơn vị theo g/ct).

Bảng 3.8. Bảng thông số phục vụ tính toán lưu lượng phun [20]

STT	Ký hiệu	Giải thích	Giá trị	Đơn vị
1.	p_i	Áp suất phun	280	bar
2.	p_g	Áp suất chất khí công tác	60	bar
3.	$\Delta p = p_i - p_g$	Sự chênh lệch áp suất		bar
4.	ρ_l	Khối lượng riêng nhiên liệu	Bảng 1.5	kg/m ³
5.	C_D	Hệ số phun nhiên liệu		
6.	$\Delta\theta$	Góc phun	16	độ
7.	d_o	Đường kính lỗ phun	0,42	mm
8.	F_i	Diện tích lỗ phun	$= \pi(d_o/2)^2$	mm ²
9.	i	Số lỗ phun	10	cái
10.	n	Tốc độ	Bảng 1.5	v/p

Bảng 3.9. Kết quả tính toán lượng nhiên liệu cấp theo loại nhiên liệu

Tốc độ (v/p)	Lượng nhiên liệu cấp vào động cơ (g/ct)				
	DO	PO10	PO20	PO30	PO100
340	3,100	3,120	3,150	3,170	3,300
So sánh với DO (%)	/	+0,645	+1,290	+1,935	+6,451

Từ kết quả trên có thể thấy được sự thay đổi theo chiều hướng tăng lưu lượng nhiên liệu cấp vào động cơ của nhiên liệu hỗn hợp dầu cò - diesel, với tỉ lệ dầu cò càng cao, khối lượng riêng càng lớn thì lưu lượng phun càng lớn.

3.1.5. Một số nhận xét

Trên cơ sở các kết quả nghiên cứu có được, sau đây là một số nhận xét:

- Nhiên liệu hỗn hợp có ảnh hưởng trực tiếp đến đặc tính vĩ mô của tia phun nhiên liệu thông qua các thông số: chiều dài tia phun S , góc nón tia phun Φ và chiều dài phân rã sơ cấp L_b . Nhìn chung, chiều dài tia phun S của nhiên liệu hỗn hợp lớn hơn so với DO theo xu hướng tỉ lệ thuận với hàm lượng dầu cò trong nhiên liệu hỗn hợp; đối với góc nón tia phun Φ của nhiên liệu hỗn hợp nhỏ hơn so với nhiên liệu DO theo xu hướng tỉ lệ nghịch với hàm lượng dầu cò; còn đối với chiều dài phân rã sơ cấp L_b của nhiên liệu hỗn hợp có chiều dài ngắn hơn so với nhiên liệu DO;

- Đối với đặc tính vi mô của tia phun nhiên liệu được đánh giá thông qua đường kính trung bình Sauters của hạt nhiên liệu cho thấy: nhiên liệu hỗn hợp có kích thước hạt nhiên liệu lớn hơn so với nhiên liệu DO. Kích thước hạt nhiên liệu có xu thế tăng tỉ lệ thuận với hàm lượng dầu cò có trong nhiên liệu hỗn hợp;

- Nhiên liệu hỗn hợp cũng gây ảnh hưởng làm thay đổi đến thời điểm phun

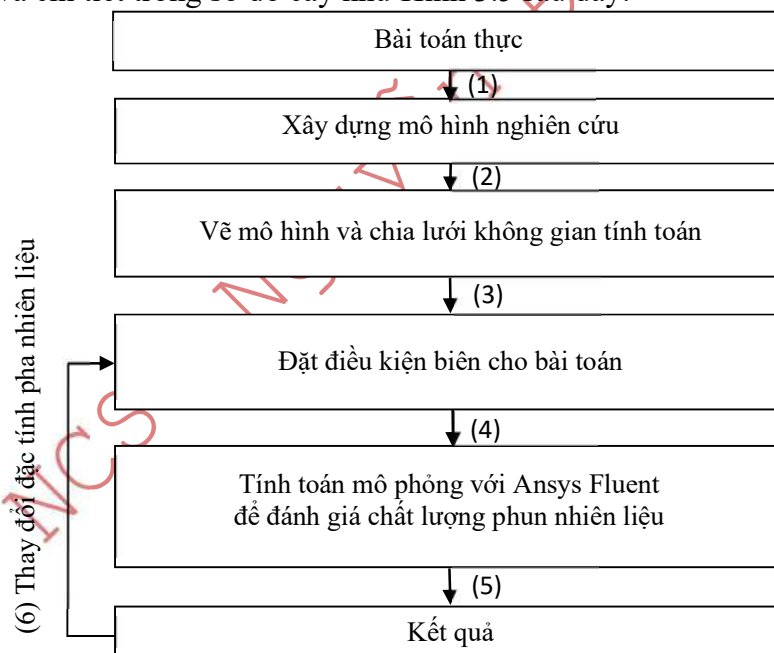
của HTPNL. Nhiên liệu hỗn hợp có khả năng làm cho vòi phun mở sớm hơn so với nhiên liệu DO khi ở cùng áp suất nâng kim phun 280 bar (Bảng 3.6) và nhiên liệu hỗn hợp có thời gian cháy trễ ngắn hơn so với nhiên liệu DO (Bảng 3.7).

Như vậy có thể khẳng định rằng, nhiên liệu hỗn hợp có ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng phun của HTPNL của động cơ diesel thủy, mà thông qua các kết quả nghiên cứu như được thể hiện ở các Bảng từ 3.6, Bảng 3.7. Vì thế, khi muốn sử dụng hỗn hợp nhiên liệu dầu thực vật - diesel làm nhiên liệu thay thế cho động cơ diesel thủy và muốn để động cơ diesel vẫn làm việc với hiệu suất cao, nhất thiết phải cần có những hiệu chỉnh nhất định đối với HTPNL của động cơ diesel này.

3.2. Mô phỏng quá trình phun nhiên liệu vào động cơ diesel tàu thủy

3.2.1. Tính toán mô phỏng bằng phần mềm Ansys Fluent

Dựa trên cơ sở lý thuyết CFD bằng phần mềm Ansys Fluent đã chọn để nghiên cứu trong phần 2.5 chương 1 về mô phỏng quá trình phun và hòa trộn – cháy trong động cơ diesel, quy trình tính toán mô phỏng được mô tả qua sơ đồ khối gồm 6 bước và chi tiết trong sơ đồ cây như Hình 3.5 sau đây:



Hình 3.5. Sơ đồ khối quy trình ứng dụng Ansys Fluent để mô phỏng

3.2.1.1. Đặt điều kiện biên

Trong qui trình tính toán ứng dụng phần mềm mô phỏng Ansys Fluent, vấn đề thiết lập được những điều kiện biên là rất quan trọng. Mô hình lưới không gian chứa chất lỏng đầu VP động cơ 6LU32 được xây dựng dựa vào các thông số đầu

vào theo Bảng 3.1. Việc xác lập biên dạng hình học được thực hiện dựa vào bản vẽ thiết kế từ nhà sản xuất như trên Hình 3.6. Do tính chất đối xứng của VP có 10 lỗ tia, nội dung mô phỏng quá trình phun được thực hiện trên 1 lỗ phun thay vì toàn bộ lỗ phun để giảm thời gian tính toán trên hệ thống máy tính (Hình 3.6).

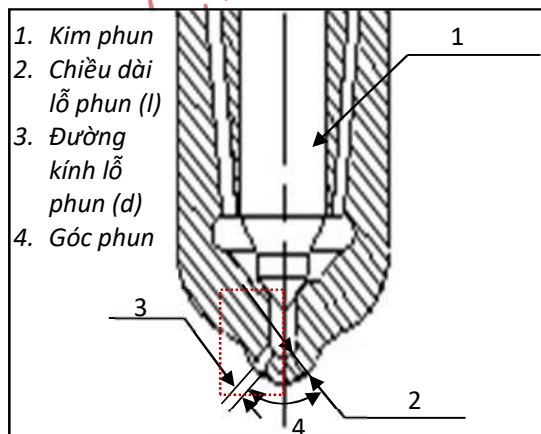
Trong bài toán này, yêu cầu được đặt ra là mô phỏng quá trình nhiên liệu lưu thông qua lỗ phun của vòi phun động cơ 6LU32 với các điều kiện biên như Bảng 3.1: không gian tĩnh của 1 lỗ tia phun, không trao đổi nhiệt; mức tải động cơ 60% (ở vòng quay 273 v/p); lưu lượng phun 3,15 g/ct (PO20); vận tốc phun 30 m/s; nhiệt độ 1300 K; áp suất phun nhiên liệu $p_{inj}=800$ bar (xem Phụ lục 4), áp suất không khí nén trong xy lanh động cơ khi phun $p_c=60$ bar, đường kính lỗ phun $d_o=0,42$ mm và chiều dài lỗ phun $l_o=3,1$ mm, cùng với góc phun 130° [20].

Hình ảnh vòi phun động cơ diesel 6LU32 thực tế như Hình 3.7. Các loại nhiên liệu được sử dụng ở đây bao gồm 5 loại: DO, PO10, PO20, PO30 và PO100 với các tính chất được thể hiện trên Bảng 1.5 chương 1 (xem thêm Hình 3.8).

3.2.1.2. Xây dựng mô hình nghiên cứu và chia lưới không gian tính toán

Đặc điểm chia lưới [22]: lưới có cấu trúc và thay đổi theo quá trình chuyển động của nhiên liệu trong lỗ phun; lưới được chia với kích thước khác nhau cho 2 vùng (không gian khe hở chứa chất lỏng trước lỗ phun và trong lỗ phun); số lượng lưới vào khoảng 700 nghìn đến 1,5 triệu phần tử.

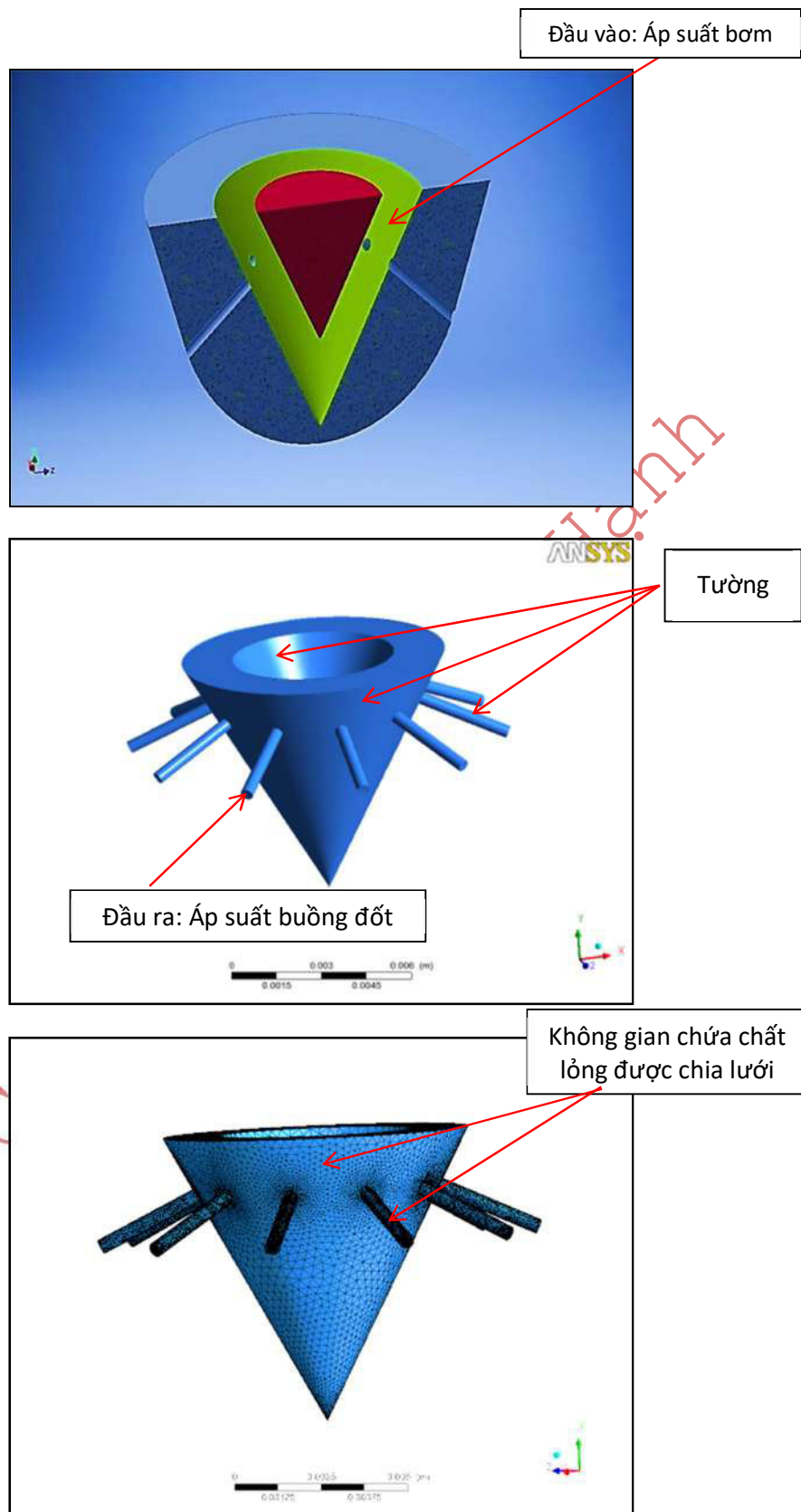
Áp dụng phần mềm Ansys Fluent [22], hình ảnh của đầu vòi phun động cơ 6LU32 được thể hiện bằng hình ảnh mặt cắt ở Hình 3.6 và Hình 3.8 là không gian chứa chất lỏng đã chia lưới để nghiên cứu và thể hiện hình ảnh lưới chia cho mô hình tính toán, trong đó lưới có dạng tam giác, được chia mịn hơn ở các lỗ phun và thưa hơn ở vùng không gian ngoài.



Hình 3.7. Mặt cắt đầu vòi phun



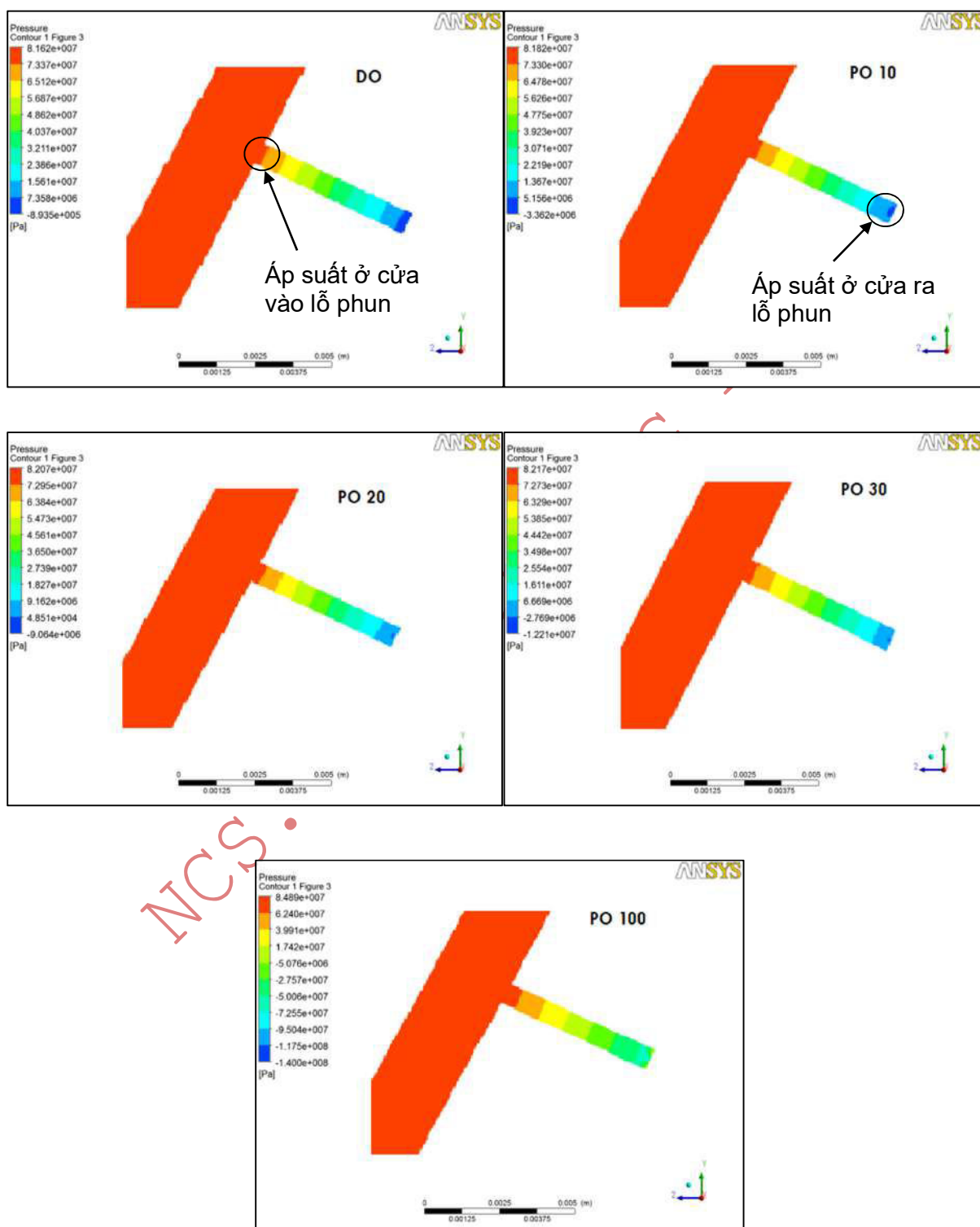
Hình 3.7. Vòi phun động cơ diesel 6LU32



Hình 3.8. Hình ảnh mô phỏng không gian chứa chất lỏng và chia lưới không gian tính toán ở đầu vòi phun

3.2.2. Kết quả tính toán mô phỏng

3.2.2.1. Trường phân bố áp suất trong quá trình phun nhiên liệu



Hình 3.9. Trường phân bố áp suất trong lỗ phun của 5 loại nhiên liệu

Từ kết quả trên, để có thể phân tích về trường áp suất của các loại nhiên liệu khi được phun qua lỗ phun với đường kính $d_0=0,42\text{mm}$ và chiều dài $l_0=3,1\text{mm}$ ở cùng áp suất, cùng nhiệt độ, nhưng có đặc tính khác nhau, đặc biệt khác về khối lượng riêng và độ nhớt động học. Trước hết hãy tìm hiểu về dải thước đo áp suất được thể hiện bằng màu sắc khác nhau tại hình ảnh có được từ mô phỏng: màu đỏ có giá trị áp suất cao nhất vào khoảng trên 800 bar, còn màu xanh nước biển có giá trị thấp nhất và vào khoảng 11 đến 73 bar.

- Theo trường phân bố áp suất (Hình 3.9) nhận thấy có sự khác biệt giữa 5 loại nhiên liệu khi lưu động trong lỗ phun. Các đoạn màu trong lỗ phun vuông góc với đường tâm lỗ chứng tỏ các mặt cắt ngang đẳng áp này cũng vuông góc với đường tâm lỗ nên thể hiện dòng chảy suôn đều, không bị tắc lỗ.

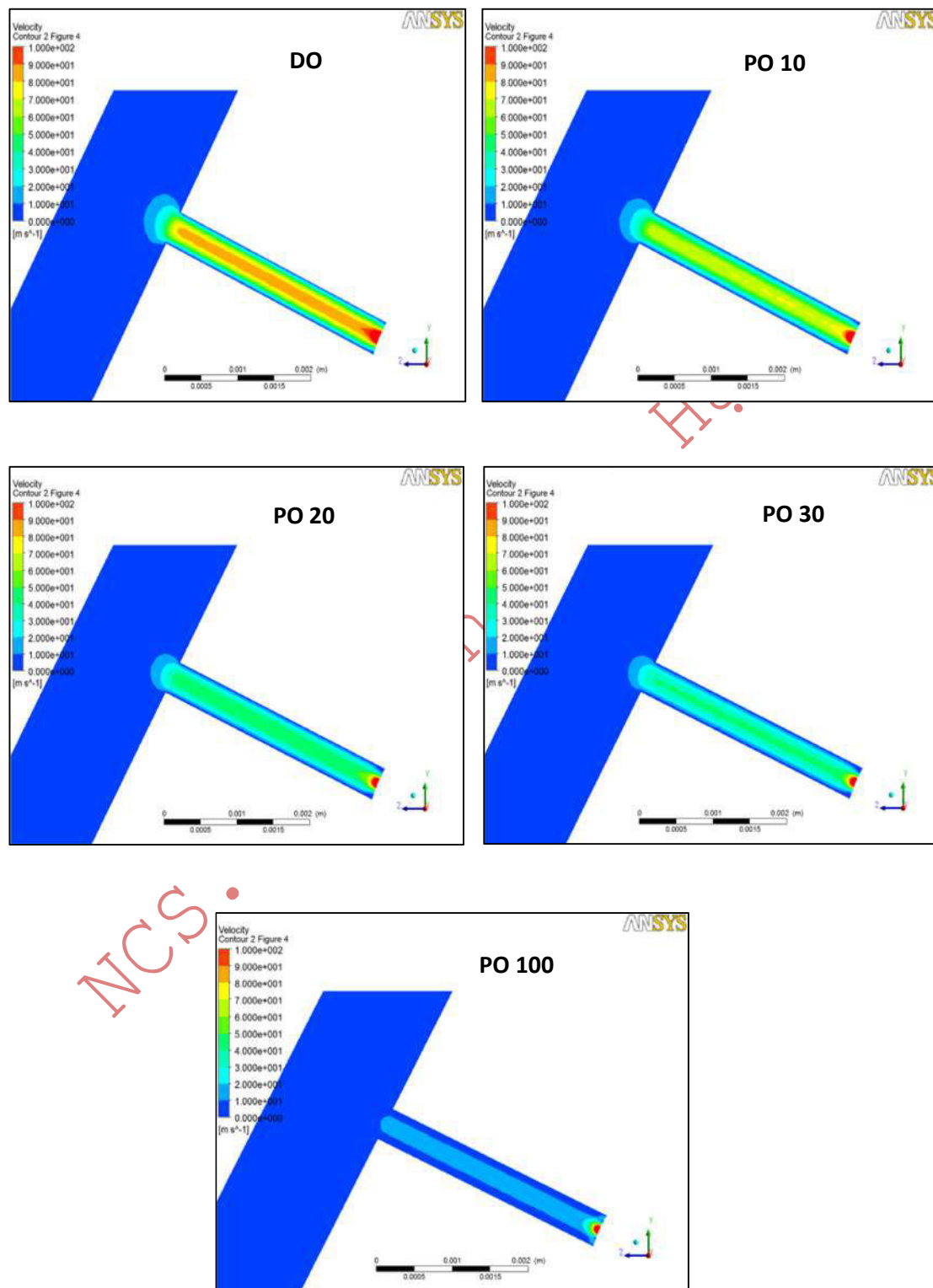
- Hai loại nhiên liệu DO và PO10 có giá trị áp suất cửa ra vào khoảng 70 bar, tuy nhiên đoạn màu xanh áp suất ở cuối lỗ phun của nhiên liệu DO có độ dài lớn hơn so với nhiên liệu hỗn hợp PO10. Điều đó chứng tỏ rằng, năng lượng áp năng đã chuyển hóa thành động năng và áp suất ở cửa ra của nhiên liệu DO có giá trị thấp hơn so với nhiên liệu PO10;

- Hai loại nhiên liệu PO20 và PO30 có giá trị áp suất ở cửa ra lỗ phun vào khoảng từ 70 bar đến 90 bar. Giá trị này cao hơn hẳn so với áp suất của hai loại nhiên liệu DO và PO10. Tuy nhiên, nếu quan sát kỹ, sẽ thấy ở trung tâm tia phun vẫn có điểm có màu tương tự giá trị áp suất ở cửa ra của lỗ phun đối với nhiên liệu DO, PO10;

- Nhiên liệu PO100 có giá trị áp suất ở cửa ra của lỗ phun là cao nhất và vào khoảng 135-150 bar.

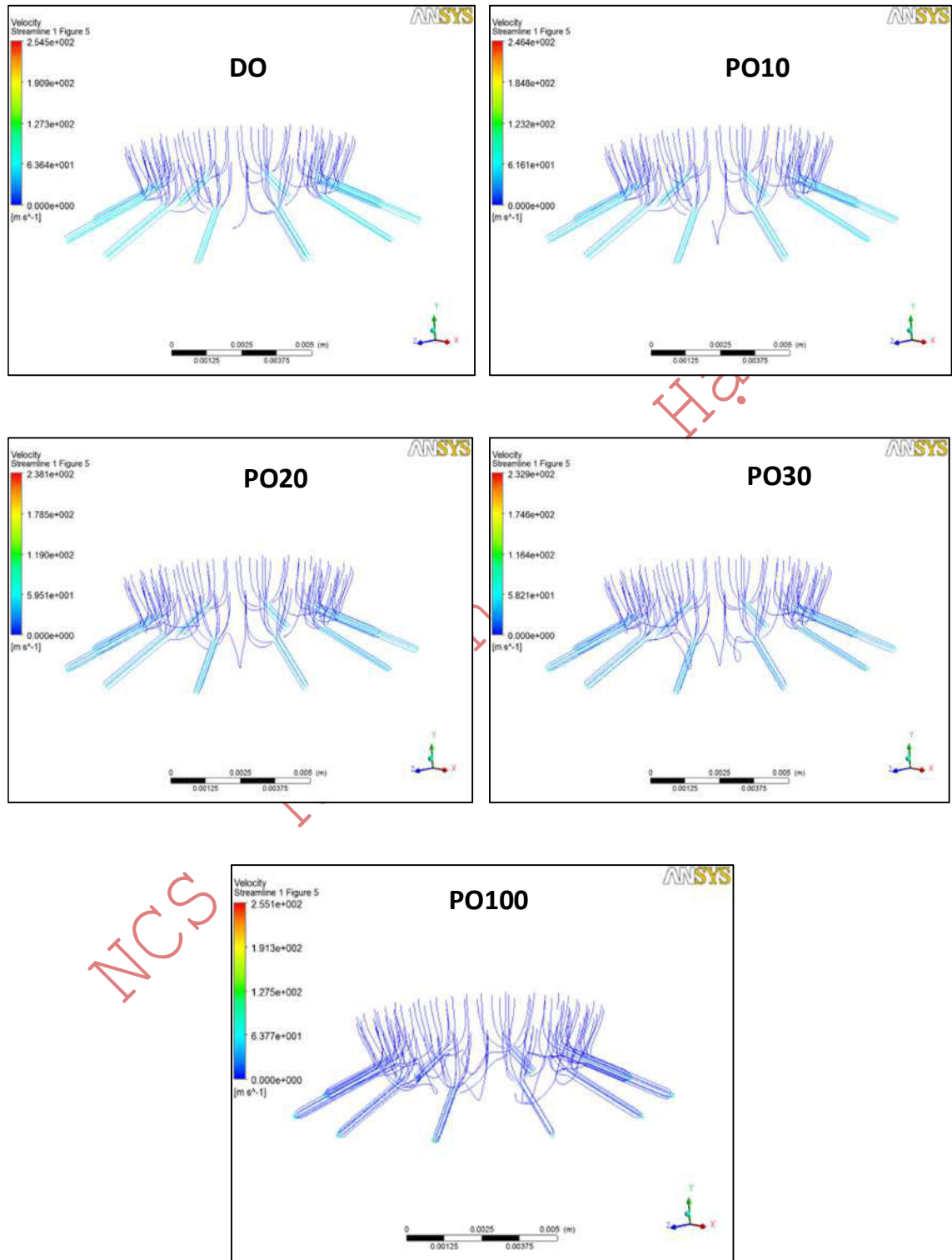
Những kết quả phân tích trên về áp suất tia phun cho thấy quy luật thay đổi là tương đồng với tính toán mô hình lý thuyết phần 3.1, đó là tia phun của nhiên liệu hỗn hợp có độ xâm nhập lớn hơn và góc phun nhỏ hơn so với nhiên liệu DO. Hiện tượng áp suất ở cửa vào và cửa ra lỗ phun của nhiên liệu hỗn hợp cao hơn so với nhiên liệu DO, có thể được giải thích là do độ nhớt của nhiên liệu hỗn hợp cao hơn so với nhiên liệu DO.

3.2.2.2. Trường phân bố vận tốc biểu diễn theo đường đồng mức



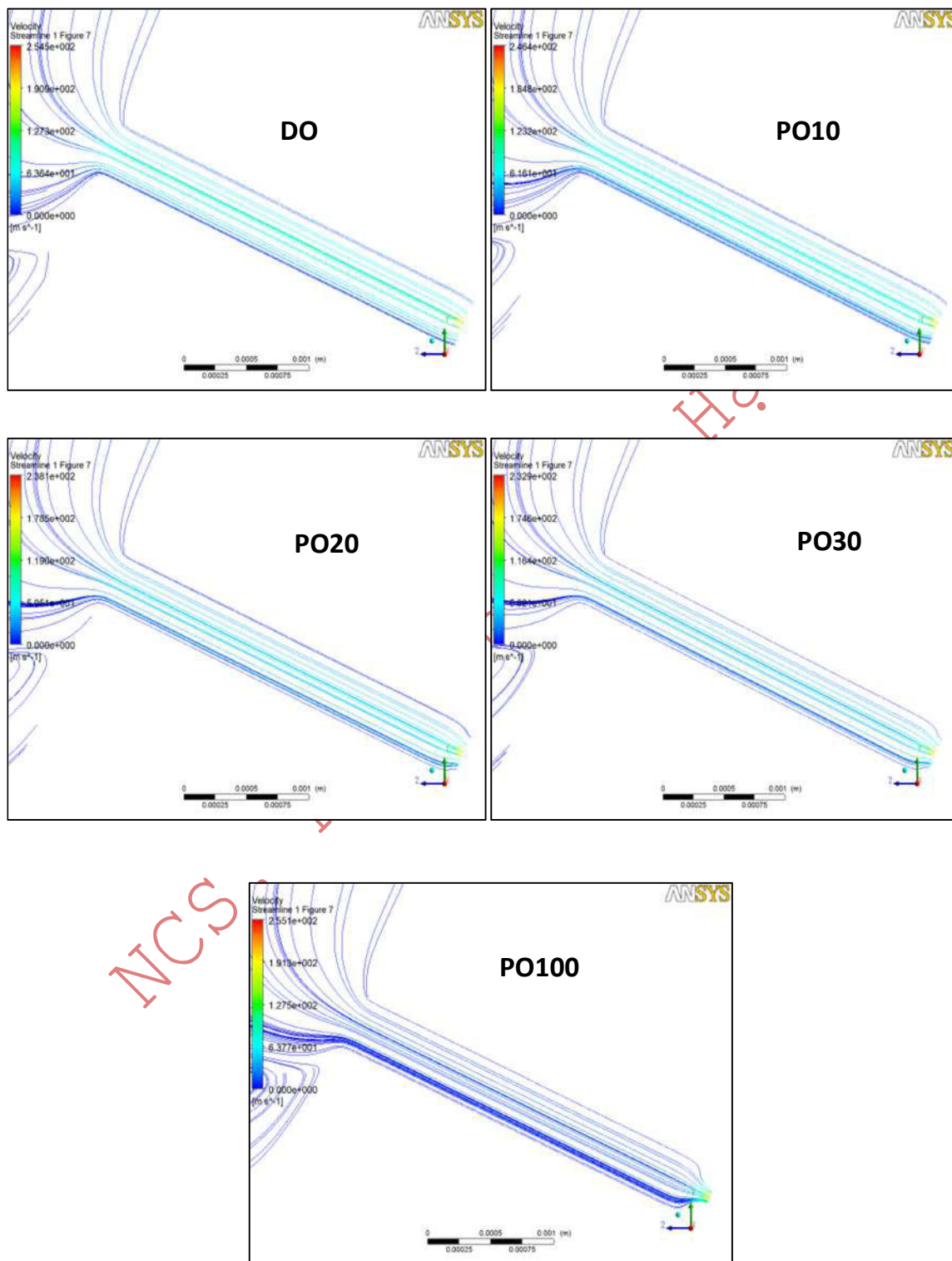
Hình 3.10. Trường phân bố vận tốc trong lỗ phun biểu diễn theo đường đồng mức của 5 loại nhiên liệu

3.2.2.3. Trường phân bố vận tốc theo đường dòng của chùm 10 lỗ phun



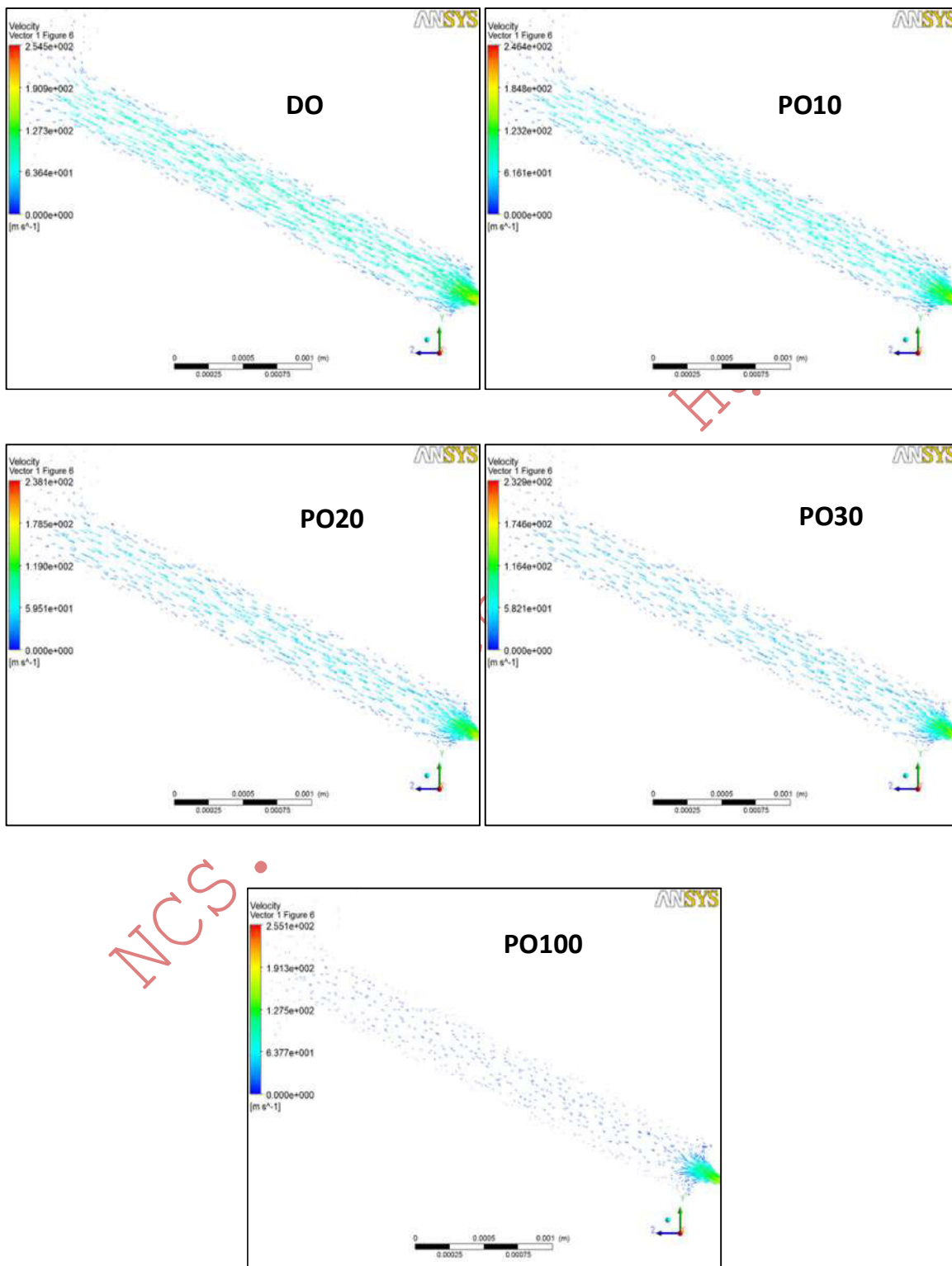
Hình 3.11. Trường phân bố vận tốc trong lỗ phun theo đường dòng – chùm 10 lỗ phun của 5 loại nhiên liệu

3.2.2.4. Trường phân bố vận tốc biểu diễn theo đường dòng của 1 lỗ phun



Hình 3.12. Trường phân bố vận tốc trong lỗ phun theo đường dòng của 5 loại nhiên liệu tại 1 lỗ phun

3.2.2.5. Trường phân bố vận tốc biểu diễn theo véc tơ



Hình 3.13. Trường phân bố vận tốc trong lỗ phun theo vector của 5 loại nhiên liệu

Khi so sánh hình ảnh trường vận tốc của nhiên liệu bên trong lỗ phun của vòi phun được thể hiện từ Hình 3.10 đến Hình 3.13 dưới các góc độ khác nhau từ thể hiện thông qua các đường đồng mức đến theo véc tơ đối với các loại nhiên liệu ở bên trong lỗ phun:

- Vận tốc chuyển động của các loại nhiên liệu không đồng đều trong lỗ phun. Ở trung tâm của lỗ phun đều có vận tốc cao hơn so với khu vực tiếp giáp với thành lỗ phun;

- Màu đỏ thể hiện vận tốc cao nhất tại đầu lỗ phun vào buồng đốt. Đối với DO thì tăng tốc sớm nhất, tổn thất năng lượng trong lỗ lớn nhất và chất lượng phun tốt nhất. Vận tốc chuyển động của nhiên liệu DO cao hơn so với các loại nhiên liệu hỗn hợp. Nhiên liệu DO và PO10 có vận tốc chuyển động khá tương đồng nhau, khoảng 80 m/s đến 90 m/s ở phần lớn chiều dài lỗ phun từ 0 đến khoảng 2,3mm; từ sau 2,3 mm đến 3,1 mm vận tốc tăng nhanh đến khoảng 100 m/s. Chi tiết hơn cho thấy vận tốc chuyển động của nhiên liệu DO lớn hơn so với PO10;

- Nhiên liệu PO20 và PO30 có vận tốc chuyển động tương đương nhau. Còn đối với PO20 ta thấy trung hòa nhất giữa PO10 và PO30 thể hiện là nhiên liệu có tăng tốc sớm trong lỗ phun (muộn hơn so với PO10 và sớm hơn so với PO30) nên chất lượng phun có thể được đảm bảo.

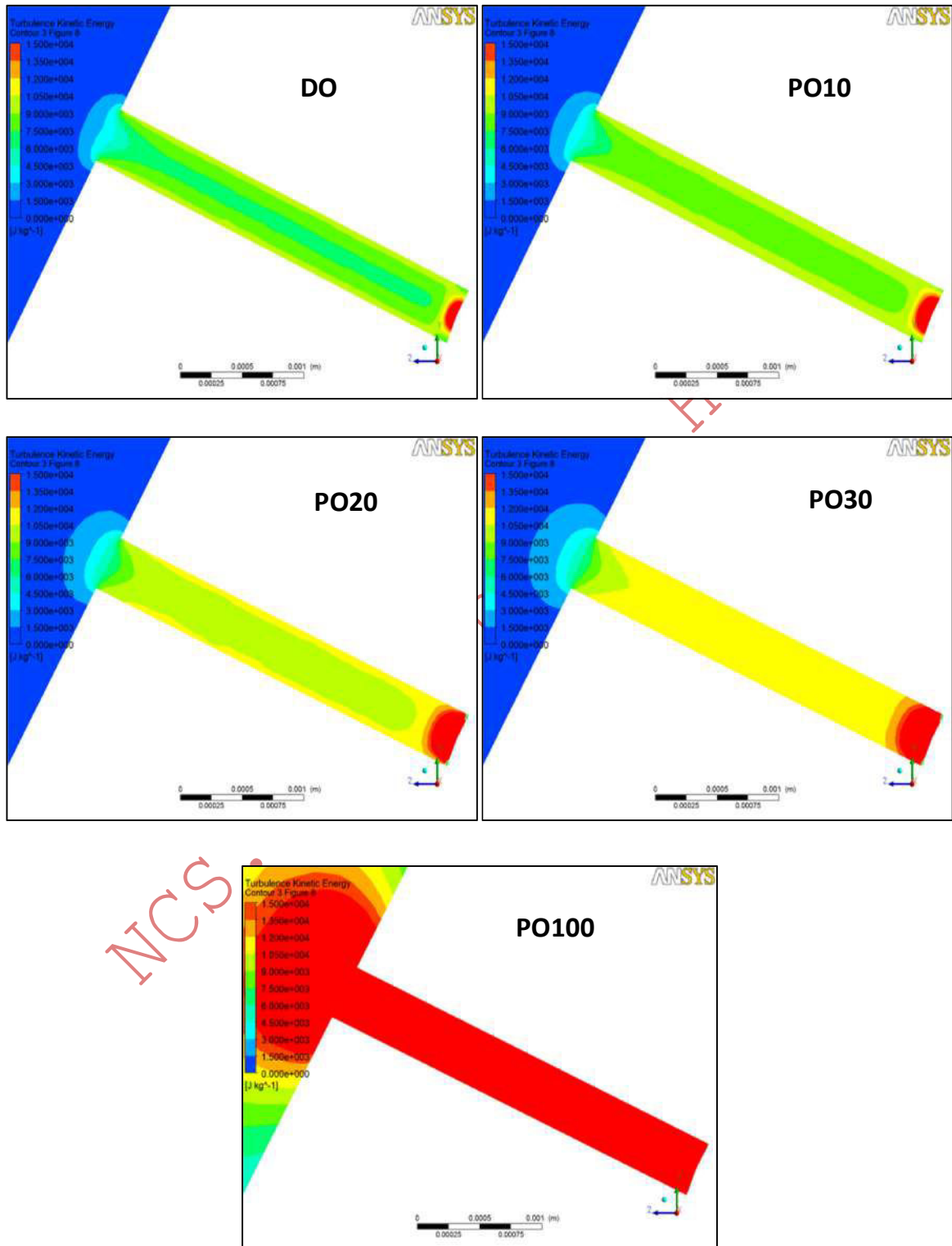
- Đối với PO100 nhiên liệu gần đầu ra lỗ phun mới tăng tốc, có vận tốc chuyển động thấp nhất, tổn thất năng lượng nhỏ nhất, nhưng chất lượng phun nhiên liệu kém nhất.

Vận tốc chuyển động thấp hơn của nhiên liệu hỗn hợp tại cửa vào và cửa ra của lỗ phun đã giải thích quy luật thay đổi chiều dài tia phun theo đặc tính của nhiên liệu hỗn hợp ngắn hơn so với nhiên liệu DO như tính toán mô hình lý thuyết ở phần 3.1.

Trường phân bố vận tốc theo đường dòng của chùm 10 lỗ (Hình 3.11) và 1 lỗ (Hình 3.12): cho biết hình ảnh dòng chảy của nhiên liệu trong lỗ phun, tất cả các trường hợp thì lưu động của nhiên liệu khá suôn đều trong ống, ít bị rối dòng.

Trường phân bố vận tốc theo Véc tơ (Hình 3.13): hình ảnh các véc tơ vận tốc có phương theo dòng chảy suôn đều và tăng tốc ở đầu ra. Đối với nhiên liệu DO thì tăng tốc sớm nhất (có nhiều hạt xanh dương trong lõi) và PO100 thì tăng tốc chậm nhất.

3.2.2.6. Trường phân bố năng lượng động năng rối



Hình 3.14. Trường phân bố theo năng lượng động năng rối trong lỗ phun của 5 loại nhiên liệu

Trong động lực học chất lỏng, sự rối loạn của dòng chảy hay dòng chảy rối là một chế độ dòng chảy đặc trưng bởi những thay đổi hỗn loạn của áp suất và vận tốc dòng chảy. Ngược lại với dòng chảy tầng, dòng chảy rối liên quan số hệ Reynolds tương đối cao, trong đó lực quán tính lớn hơn nhiều so với lực nhớt. Dòng chảy rối có liên quan mật thiết đến năng lượng động rối và để có thể biểu thị được dòng chảy rối, người ta có thể biểu thị nó thông qua năng lượng động rối. Trên Hình 3.14 thông qua ứng dụng mô phỏng bằng phần mềm Ansys Fluent, cho thấy hình ảnh phân bố năng lượng động năng rối (đơn vị (J/kg)) trong không gian tại cửa vào, bên trong và ở cửa ra lỗ phun của vòi phun của động cơ 6LU32 cho thấy nhiều sự khác biệt giữa các loại nhiên liệu.

- Năng lượng chảy rối của nhiên liệu DO thấp hơn ~~số~~ với nhiên liệu hỗn hợp, tăng dần từ đầu ống đến cuối ống lỗ phun nên ~~đạt hiệu quả~~ phun cao nhất.

- Giữa nhiên liệu DO và PO10 có tính tương đương cao, còn nhiên liệu hỗn hợp PO20 và PO30 cũng có năng lượng chảy rối tương tự nhau; cả 4 loại nhiên liệu này đều có năng lượng động rối phân bố đều, tăng lên theo chiều dài lỗ phun và tập trung cao ở cửa ra của lỗ phun (các chấm màu đỏ);

- Năng lượng động rối đặc biệt đáng lưu ý đối với nhiên liệu PO100 có màu đỏ đồng đều do loại nhiên liệu này có khối lượng riêng và độ nhớt cao nên năng lượng động năng rối phải tăng cao thì nhiên liệu mới phun được vào buồng đốt. Năng lượng động rối trải khắp không gian tại cửa vào của lỗ phun, bên trong lỗ phun và ở cửa ra của lỗ phun. Nguyên nhân của vấn đề này có thể là bởi lực cản do ma sát bề mặt lớp biên tăng lên và cấu trúc, vị trí tách lớp biên thường xuyên thay đổi, đôi khi dẫn đến việc giảm lực cản tổng thể.

Năng lượng động rối cao có thể gây nên sự nhiễu loạn áp suất lớn và đây chính là nguyên nhân gây lên hiện tượng xâm thực mạnh tại cửa vào và cửa ra của các lỗ phun. Hiện tượng xâm thực có thể làm cho bề mặt tại các khu vực này bị rỗ, tróc và gây hư hỏng thường gặp đối với vòi phun. Quan trọng hơn, khi đặc tính nhiên liệu thay đổi, làm năng lượng động rối thay đổi ảnh hưởng đến mức độ xâm thực, do đó ảnh hưởng đến đặc tính dòng chảy trong lỗ phun, tốc độ phun của nhiên

liệu và sự nhiễu loạn của nhiên liệu khi ra khỏi lỗ phun. Điều này làm thay đổi sự hình thành phun sương, độ xâm nhập tia phun, tác động đến hiệu suất của vòi phun, hiệu suất của động cơ và đặc tính phát thải.

Các Hình từ 3.9 đến 3.14 đã thể hiện rõ sự biến thiên năng lượng trong vòi phun, đặc biệt là sự chuyển đổi từ áp năng sang động năng trước khi ra khỏi vòi phun. Sự chuyển đổi năng lượng này là phù hợp dẫn đến dòng chảy suôn đều, không tồn tại các vùng chảy rối gây tổn thất năng lượng và ảnh hưởng đến chất lượng phun nhiên liệu.

3.3. Mô phỏng quá trình hòa trộn-cháy của nhiên liệu hỗn hợp trong động cơ diesel tàu thủy

Ở phần trên của chương này, NCS đã đề cập đến hai giải pháp để đánh giá sự ảnh hưởng của nhiên liệu hỗn hợp đến HTNL động cơ diesel thủy. Các kết quả nghiên cứu bằng mô hình lý thuyết và áp dụng mô phỏng bằng phần mềm Ansys Fluent đối với nhiên liệu khi được phun qua các lỗ phun của vòi phun đã cơ bản làm rõ được sự ảnh hưởng của nhiên liệu hỗn hợp đến chất lượng phun nhiên liệu của HTNL động cơ diesel tàu thủy.

Dựa vào cơ sở lý thuyết mô phỏng số CFD bằng phần mềm Ansys Fluent đã trình bày ở mục 2.5, NCS cũng nghiên cứu tiếp khi nhiên liệu hỗn hợp được phun vào buồng đốt động cơ diesel (cũng lấy động cơ 6LU32 làm đối tượng nghiên cứu) sẽ được hòa trộn với không khí sạch và cháy như thế nào? Kết quả mô phỏng bằng Ansys Fluent sẽ cho thấy một số vấn đề quan trọng sau đây:

- Sự phân bố áp suất trong quá trình hòa trộn-cháy;
- Sự phân bố nhiệt độ trong quá trình hòa trộn-cháy;
- Sự phân bố vận tốc trong quá trình hòa trộn-cháy.

Trong Ansys Fluent ngoài mô hình cháy không trộn lẫn trước còn có mô hình cháy trộn lẫn trước và mô hình trộn trước một phần nhưng mục tiêu của phần này là đi nghiên cứu về quá trình hòa trộn - cháy trong động cơ diesel cho nên mô hình cháy được lựa chọn là “không trộn lẫn trước” (Phụ lục 5).

Để thực hiện được thành công mô phỏng quá trình hòa trộn - cháy của nhiên liệu trong buồng đốt động cơ diesel nói chung và động cơ diesel cụ thể 6LU32 nói riêng, trên Bảng 3.8 biểu thị chi tiết các bước cần thực hiện.

Bảng 3.10. Quy trình tính toán mô phỏng

TT	Nội dung
1	Vẽ mô hình theo kích thước thật của động cơ (đường kính piston, hành trình, chiều cao buồng đốt, vị trí phun nhiên liệu, giới hạn ĐCT và vị trí trước khi qua cửa xả), chia lưới, đặt điều kiện biên (đầu vào, ra, tường tĩnh, tường động) và xuất sang file.mesh (có thể dùng phần mềm Grid, Gambit hoặc lập trình giải quyết trực tiếp).
2	Kiểm tra lưới (loại lưới, kích thước lưới, số lượng lưới vì điều này liên quan đến cấu hình máy tính thực hiện cũng như độ chính xác của bài toán), chọn mô hình tính toán phù hợp.
3	Đặt cụ thể điều kiện biên cho bài toán: (áp suất, nhiệt độ trước quá trình phun nhiên liệu được đưa vào theo số liệu thực nghiệm).
4	Đặt độ chính xác (điều kiện hội tụ), bước thời gian, chế độ ghi kết quả tự động cho các biến quan tâm và số vòng lặp cần thiết.
5	Tiến hành tính toán và theo dõi quá trình thực hiện bài toán: (kết quả tính toán các biến sẽ được hiển thị qua đồ thị theo mỗi bước thời gian và được phân biệt bằng màu sắc để tiện theo dõi, khi biến nào đạt độ chính xác đặt trước thì dừng lại, các biến khác vẫn tiếp tục thực hiện tính toán theo yêu cầu).
6	Khi bài toán hội tụ theo yêu cầu thì ghi lại toàn bộ kết quả và tiến hành phân tích kết quả (lúc này có thể kết hợp thêm các phần mềm khác như Excel, Tecplot hoặc lập trình xử lý) sau đó sẽ thay đổi đặc tính của hỗn hợp (khối lượng riêng và độ nhớt khác).

Đây là bài toán mô phỏng với không gian tính toán 3D dạng khối trụ, do đó phải tạo ra các mặt đối xứng khác nhau cũng như các mặt song song với piston để thể hiện được kết quả tính toán trong toàn bộ không gian buồng đốt.

3.3.1. Phương án tính toán mô phỏng

Như vậy, ta có thể tổng hợp các phương án tính toán mô phỏng bằng Ansys Fluent như sau:

- Các điều kiện biên xác định theo đặc điểm động cơ 6LU32 và vòi phun của động cơ này theo Bảng 3.1; các điều kiện khác như mục 3.2.1.1.

- Đầu vào: NCS chỉ tập trung thực hiện mô phỏng cho quá trình hòa trộn - cháy của loại nhiên liệu PO20, đây là loại nhiên liệu hỗn hợp được cho là có đặc tính lý hóa phù hợp nhất dành cho động cơ diesel 6LU32 được khuyến cáo bởi kết quả nghiên cứu thuộc đề tài cấp nhà nước mã số: ĐT.04.11/NLSH “Đề án phát triển NLSH đến năm 2015, tầm nhìn đến năm 2025” [20] tương ứng với mức tải 60%.

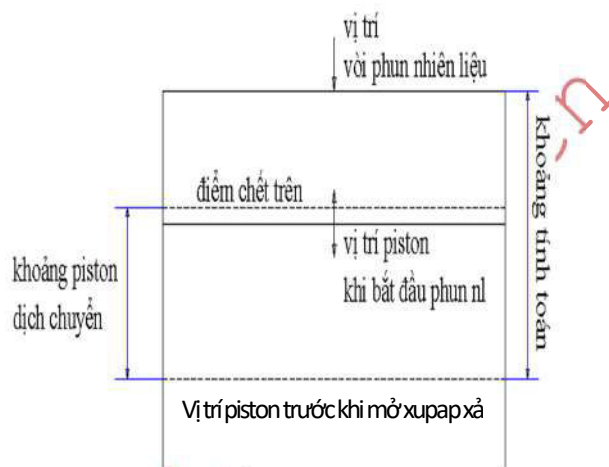
- Đầu ra: đánh giá chất lượng quá trình hòa trộn - cháy trong buồng đốt động cơ diesel 6LU32 theo sự thay đổi của trường áp suất, trường nhiệt độ, trường vận tốc cháy của hỗn hợp cháy trong không gian buồng đốt theo GQTK trong góc khảo sát.

3.3.2. Xây dựng mô hình mô phỏng quá trình hòa trộn-cháy

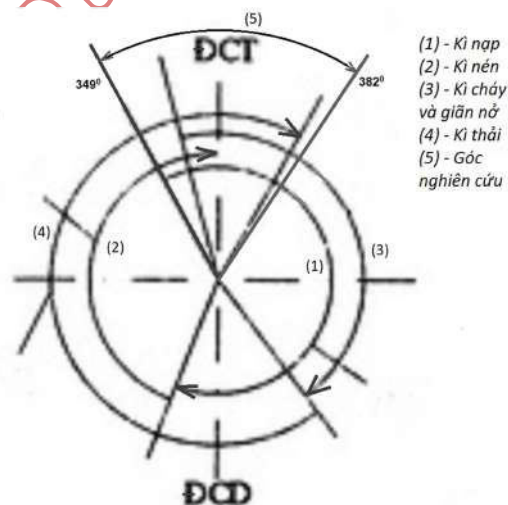
3.3.2.1. Lựa chọn khu vực tính toán

Việc nghiên cứu bằng phương pháp mô phỏng số chính là đi xây dựng các phương trình lý thuyết liên quan đến quá trình cháy như các phương trình mô tả dòng chảy rối, mô hình cháy, phương trình truyền nhiệt... sau đó tiến hành giải theo điều kiện biên của bài toán (chính là các thông số hình học – kích thước thật của máy, thông số vận hành – các số liệu đo đạc thực nghiệm).

Ở đây, trong một chu kỳ hoạt động của động cơ diesel, NCS tập trung nghiên cứu giai đoạn hòa trộn nhiên liệu và bắt đầu quá trình diễn ra sự cháy. Để thấy rõ giai đoạn nghiên cứu ta xét trên một chu kỳ hoạt động của động cơ diesel 6LU32, như thể hiện trên hình xem Hình 3.15, Hình 3.16.



Hình 3.16. Không gian tính toán theo vị trí của piston



Hình 3.15. Góc nghiên cứu theo GQTK

3.3.2.2. Lựa chọn mô hình tính toán

- Mô hình cháy Non-premixed: nhiên liệu và không khí không trộn lẫn trước, kết hợp với hàm PDF – hàm mật độ xác suất (thống kê xác suất nhiên liệu có mặt ở mỗi vị trí);

- Mô hình rối k-ε: mô hình động năng và tiêu tán rối, được sử dụng phổ biến cho kết quả tương đối chính xác trong mô phỏng số;

- Mô hình phun nhiên liệu: phun rời rạc theo pha (discrete phase – injection);

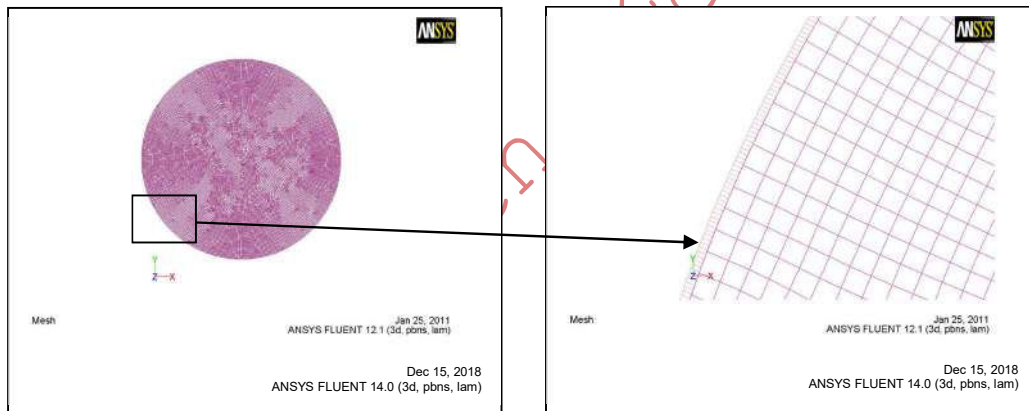
- Mô hình In-Cylinder: quy định chuyển động của piston kết hợp lưới động.

3.3.2.3. Xây dựng mô hình nghiên cứu và chia lưới không gian tính toán

Đặc điểm của lưới [22]:

- Lưới có cấu trúc và lượng lưới thay đổi theo quá trình chuyển động của piston;
- Lưới được chia với kích thước khác nhau cho 4 vùng (gồm 2 vùng cửa hút và xả cùng kiểu lưới kích cỡ 2.5mm, mỗi vùng khoảng 100.000 phần tử; vùng buồng cháy khi piston ở ĐCT có cỡ lưới 2mm khoảng 500.000 phần tử; vùng không gian nén có cỡ lưới 5mm khoảng 3.800.000 phần tử và cỡ lưới 10mm khoảng 500.000 phần tử). Tổng số khoảng 4.500.000 phần tử - số lượng lưới lớn, chỉ xem xét quá trình phun nhiên liệu và cháy, bỏ qua quá trình nén để phù hợp với cấu hình máy tính chuyên dụng có thể chạy được ra kết quả.

Sơ bộ về hình ảnh chia lưới để thực hiện các bước mô phỏng tiếp theo như được thể hiện trên Hình 3.17.



Hình 3.17. Hình ảnh lưới của các mô hình tính toán



Hình 3.18. Mặt đỉnh piston và nắp xi lanh động cơ diesel 6LU32



Hình 3.19. Hình dạng không gian buồng đốt động cơ diesel 6LU32 trong AutoCAD Mechanical 2017

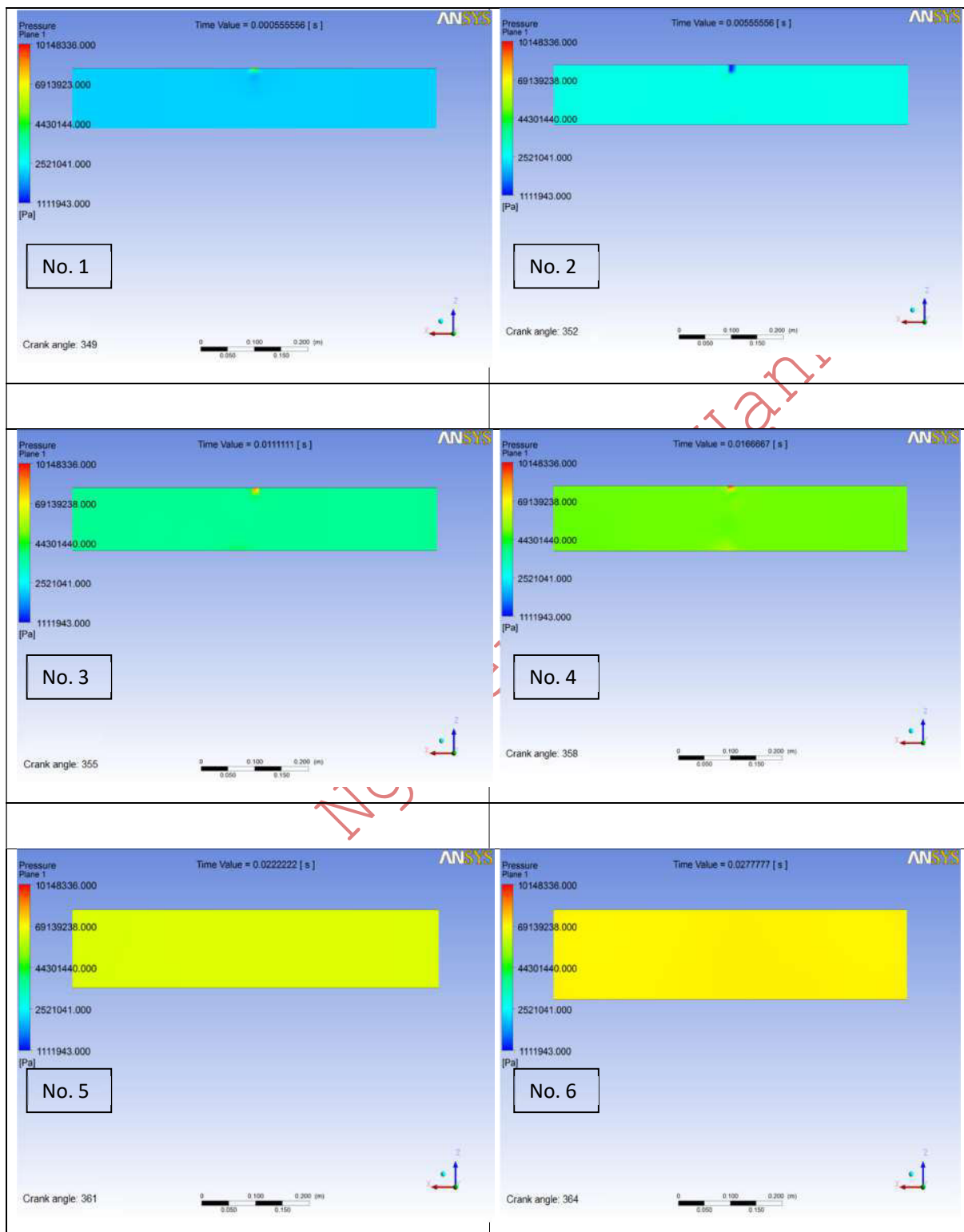
Ở Hình 3.18 cũng thể hiện một cách cụ thể đỉnh piston và mặt đáy nắp xy lanh của động cơ 6LU32, còn trên Hình 3.19 là hình dạng không gian buồng đốt của động cơ này được vẽ bằng AutoCAD để phục vụ chia lưới trong mô phỏng quá trình hòa trộn - cháy của nhiên liệu trong động cơ diesel cụ thể.

3.3.3. Kết quả tính toán cho loại nhiên liệu PO20

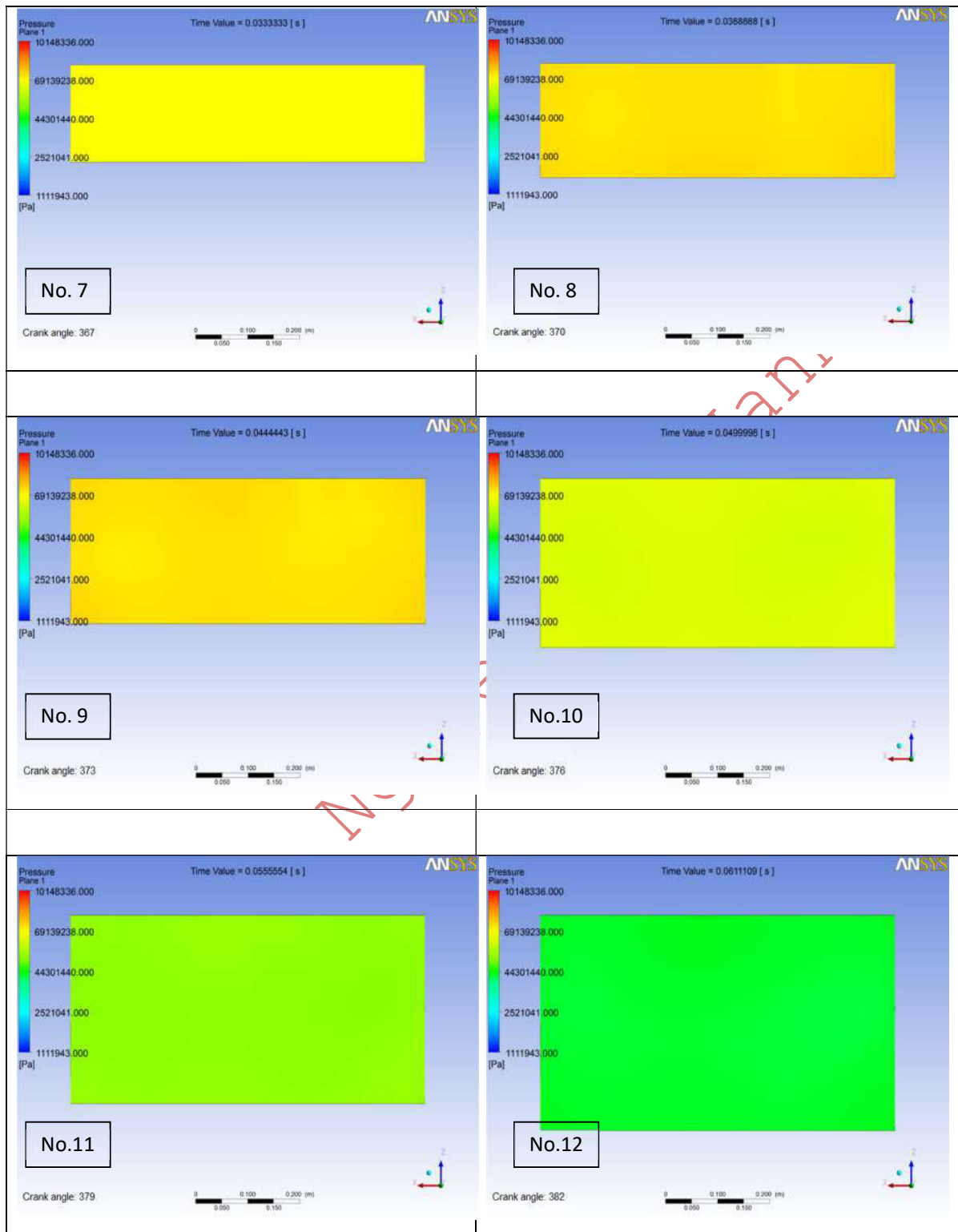
Bằng việc tính toán cho không gian buồng đốt trong suốt quá trình khảo sát theo các bước thời gian tương ứng với GQTK cho phép ta ghi lại các kết quả nghiên cứu cần thiết. Để thể hiện các kết quả này ta có thể đưa ra dưới dạng trường phân bố áp suất, trường phân bố nhiệt độ và trường phân bố vận tốc cháy theo các mặt cắt đứng đi qua đường tâm xy lanh trùng với đường tâm của vòi phun, lỗ phun đối xứng trong không gian buồng đốt theo GQTK.

3.3.3.1. Phân bố áp suất trong quá trình hòa trộn - cháy

Hình 3.20 có 12 ô kết quả nhỏ thể hiện trường phân bố áp suất trong toàn không gian buồng đốt theo GQTK, theo các GQTK từ 349⁰GQTK (-11⁰ trước ĐCT) đến 382⁰GQTK (22⁰ sau ĐCT) với bước ghi đặt là 3⁰ trên động cơ diesel 6LU32.



Hình 3.20 (1-6). Phân bố áp suất trong buồng đốt tại mặt cắt đứng đi qua đường tâm xy lạnh theo các GQTK trên động cơ diesel 6LU32, PO20



Hình 3.20 (7-12). Phân bố áp suất trong buồng đốt tại mặt cắt đứng đi qua đường tâm xy lanh theo các GQTK trên động cơ diesel 6LU32, PO20

Trên mỗi hình vẽ nhỏ là một ô cửa sổ thể hiện kết quả của chương trình tính toán, ta có thể ghi lại theo các bước thời gian tương ứng với GQTK hay tương ứng với vị trí của piston. Góc trên bên trái là thanh chỉ thị màu sắc theo các giá trị áp suất (pressure plane 1) để thể hiện các kết quả tính toán, giá trị ở giữa cửa sổ trên cùng là khoảng thời gian khảo sát tương ứng (time value), góc bên trái phía dưới là góc quay trục khuỷu (crank angle), ở đây các kết quả được ghi lại theo GQTK bắt đầu từ 349 độ, nghĩa là trước ĐCT11 độ tương ứng với giá trị của góc phun sớm động cơ 6LU32.

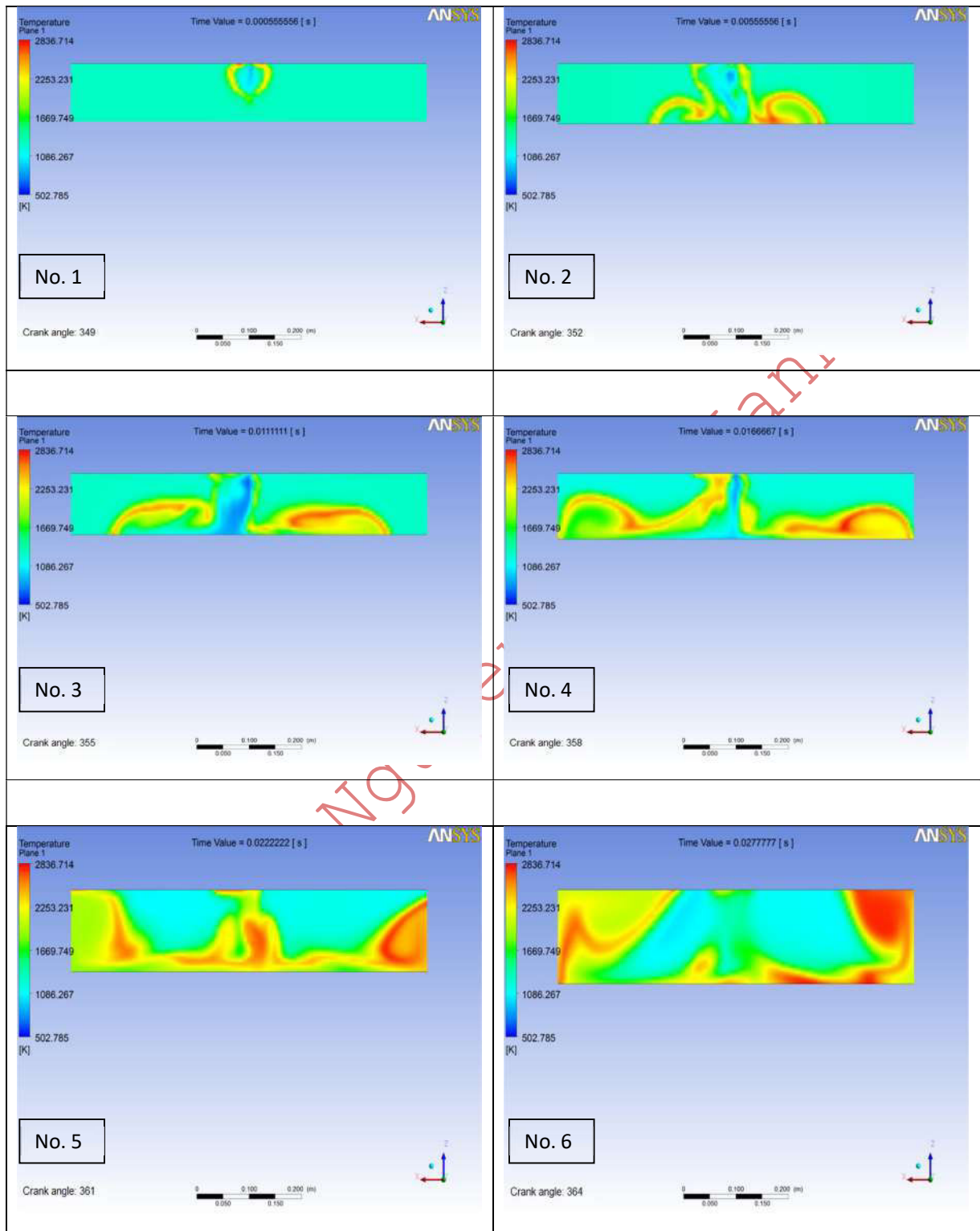
Theo chỉ thị về màu sắc, màu xanh nước biển thể hiện áp suất bé nhất và màu đỏ là lớn nhất trong không gian buồng đốt. Áp suất được coi như bằng nhau trong toàn bộ không gian buồng đốt tại từng thời điểm khảo sát trừ vị trí ngay tại đầu vòi phun có sự khác biệt. Áp suất tăng dần theo các kết quả của các ô nhỏ từ No.1 đến No.8 là lớn nhất ứng với thời gian khảo sát là 0,0388888s và tại GQTK là 370⁰, sau đó đến ô No.9 tại GQTK 373⁰ thì áp suất bắt đầu giảm đến ô No.12 tại 382⁰ GQTK có màu xanh lá cây.

Như vậy bằng cách trích xuất các kết quả hình ảnh được chia nhỏ theo GQTK và khoảng thời gian khảo sát tương ứng đã cho thấy các kết quả về diễn biến thay đổi áp suất trong không gian buồng đốt động cơ thuộc khoảng góc trục khuỷu khảo sát, xác định được vị trí đạt áp suất lớn nhất.

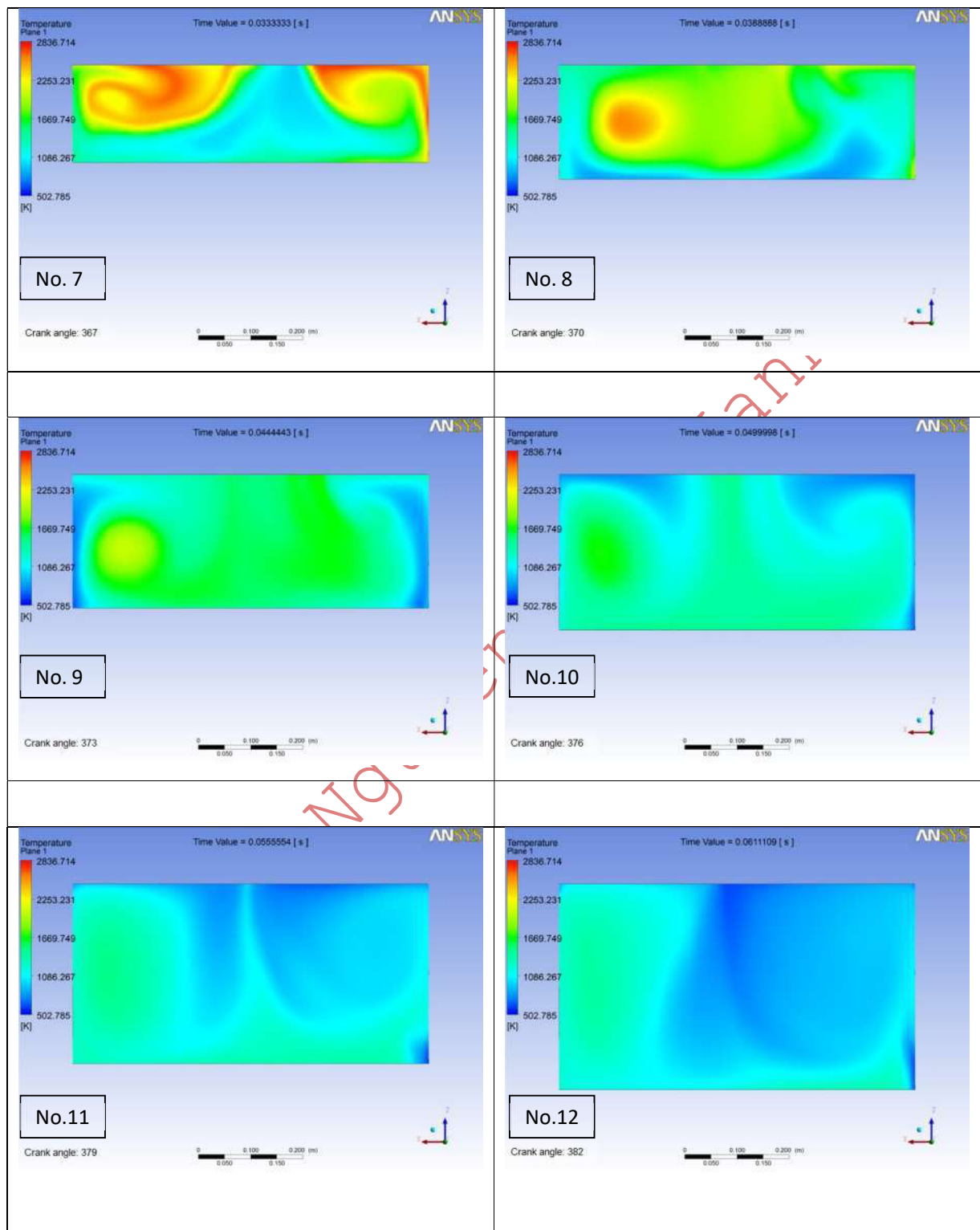
Qua kết quả tính toán giá trị áp suất cho trường hợp trên ta thấy các kết quả tính toán bằng phương pháp số có sai khác với các kết quả đo thực nghiệm (Phụ lục 2, 3) nhưng phù hợp với qui luật thay đổi áp suất trong xy lanh, đặc biệt kết quả tính toán cho giá trị áp suất lớn nhất cao hơn so với thực nghiệm đo được tại vị trí GQTK tương ứng.

3.3.3.2. Phân bố nhiệt độ trong quá trình hòa trộn - cháy

Tương tự như việc thể hiện kết quả tính toán về trường áp suất, mô phỏng số có các kết quả trường phân bố nhiệt độ thể hiện trên Hình 3.21, cụ thể là 12 ô kết quả nhỏ thể hiện trường phân bố nhiệt độ tại mặt cắt đứng đi qua đường tâm xy lanh trùng với đường tâm của vòi phun, lỗ phun đối xứng trong không gian buồng đốt theo các GQTK từ 349⁰GQTK (-11⁰ trước ĐCT) đến 382⁰GQTK (22⁰ sau ĐCT) với bước ghi đặt là 3⁰ như các điểm ghi tính toán trong phân bố áp suất trên động cơ diesel 6LU32.



Hình 3.21 (1-6). Phân bố nhiệt độ trong buồng đốt tại mặt cắt đứng đi qua đường tâm xy lạnh theo các GQTK trên động cơ diesel 6LU32, PO20



Hình 3.21 (7-12). Phân bố nhiệt độ trong buồng đốt tại mặt cắt đứng đi qua đường tâm xy lạnh theo các GQTK trên động cơ diesel 6LU32, PO20

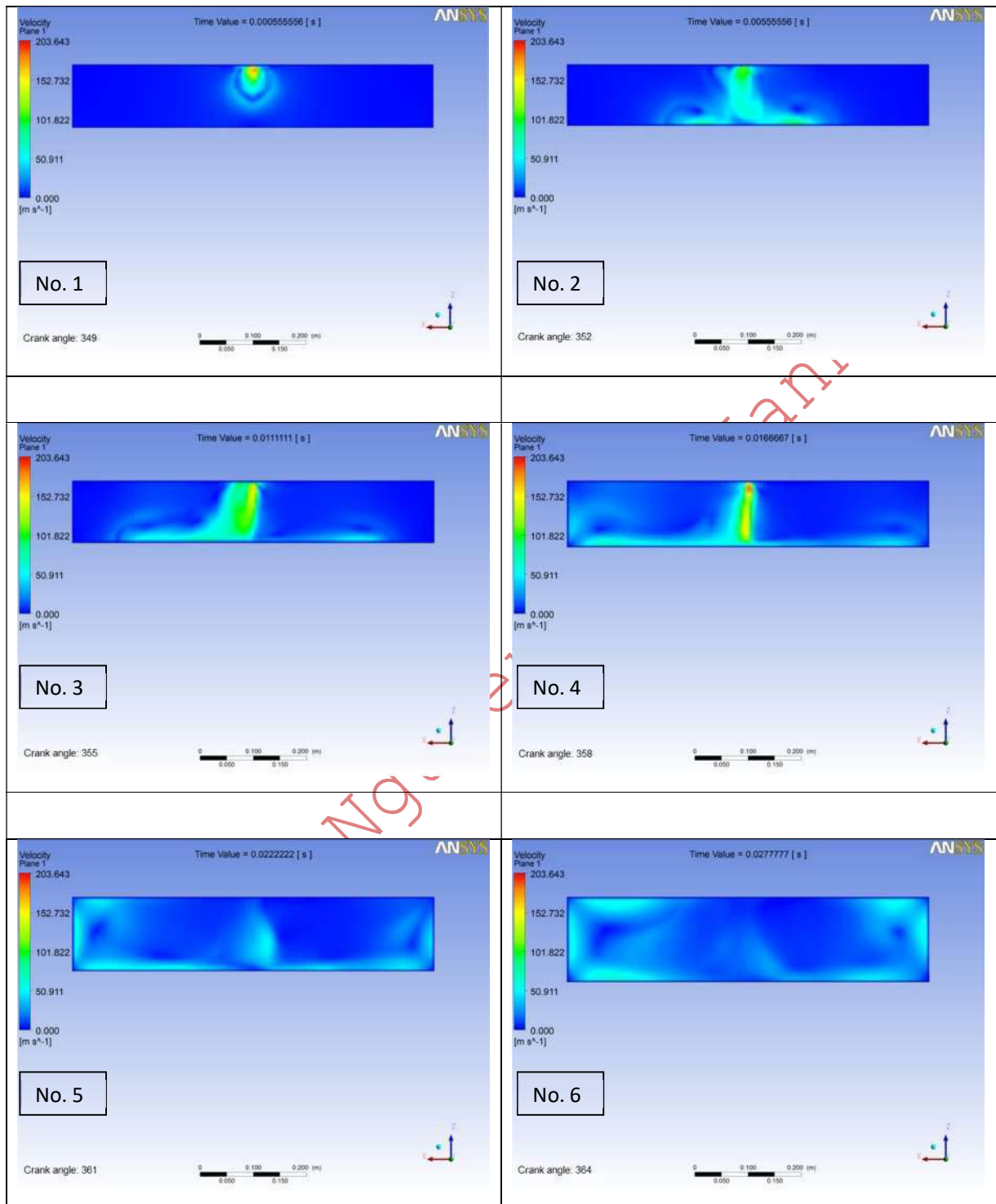
Từ Hình 3.21 cho thấy mỗi hình vẽ nhỏ là một ô của sổ thể hiện kết quả của chương trình tính toán trường phân bố nhiệt độ. Góc trên bên trái là thanh chỉ thị màu sắc theo các giá trị nhiệt độ (temperature plane 1) để thể hiện các kết quả tính toán, giá trị ở giữa cửa sổ trên cùng là khoảng thời gian khảo sát tương ứng (time value), góc bên trái phía dưới là góc quay trục khuỷu (crank angle), ở đây các kết quả được ghi lại theo GQTK bắt đầu từ 349 độ, nghĩa là trước ĐCT 11 độ tương ứng với giá trị của góc phun sớm động cơ 6LU32.

Về chỉ thị nhiệt độ theo màu sắc, màu xanh nước biển thể hiện nhiệt độ bé nhất và màu đỏ là lớn nhất trong không gian buồng đốt. Tuy nhiên không giống trường áp suất, trường nhiệt độ có các vùng không bằng nhau trong toàn bộ không gian buồng đốt tại từng thời điểm khảo sát. Các vùng có màu đỏ và vàng quyện vào nhau có nhiệt độ cao thể hiện ngọn lửa bắt đầu cháy tại các chùm tia phun nhiên liệu. Nhiệt độ có xu hướng tăng dần theo các kết quả của các ô nhỏ từ No.1 đến No.6 và No.7 là lớn nhất ứng với thời gian khảo sát là 0,0277777s và 0,0333333s tại GQTK là 364° và 367° sau đó đến ô No.8 tại GQTK 370° thì nhiệt độ bắt đầu giảm đến ô No.12 tại 382° GQTK có màu xanh lá cây.

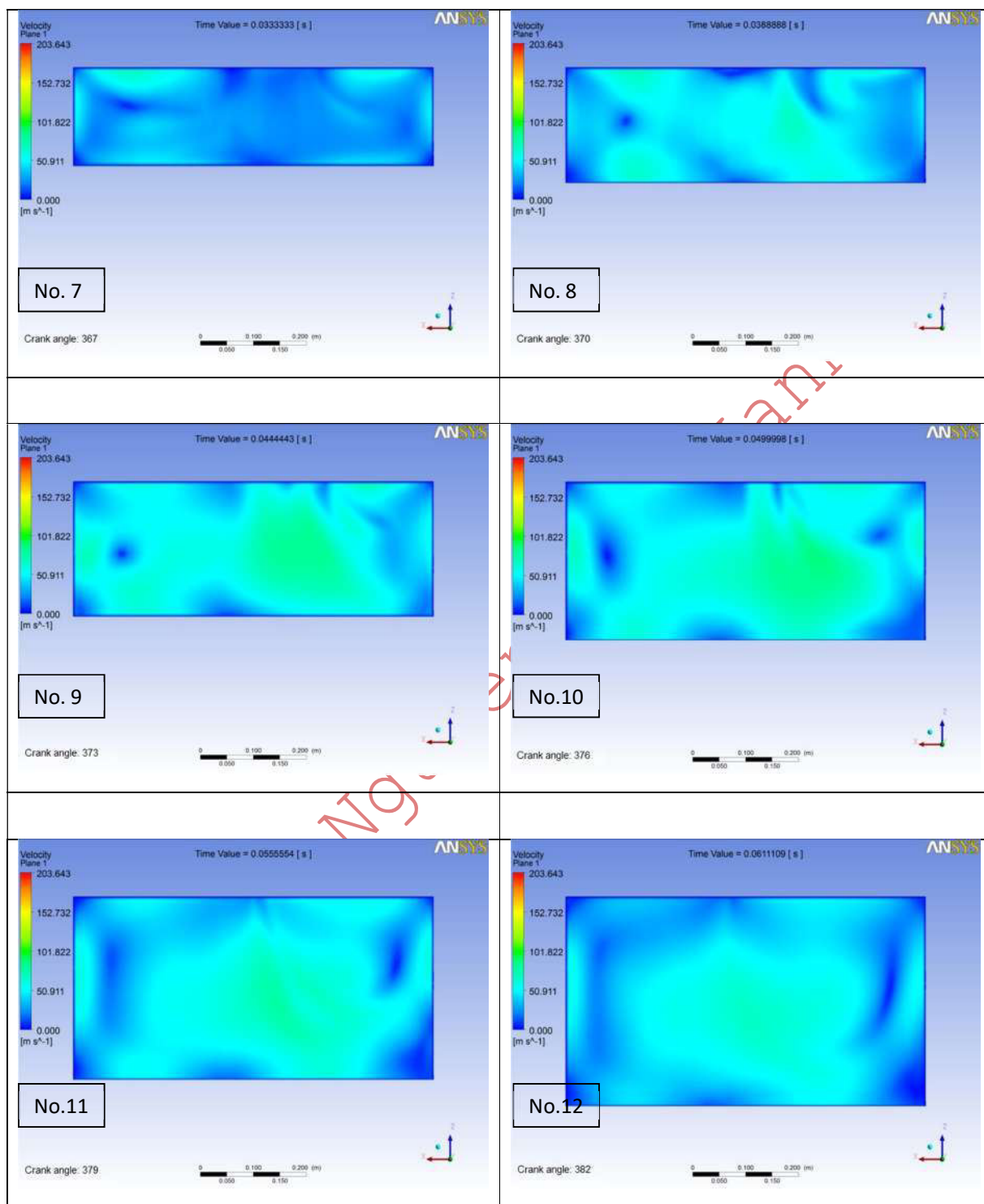
Mô phỏng số đã xuất các kết quả hình ảnh được chia nhỏ theo GQTK và khoảng thời gian khảo sát tương ứng đã cho thấy các kết quả về diễn biến thay đổi nhiệt độ trong không gian buồng đốt động cơ, thể hiện được các vùng có nhiệt độ lớn khi bắt đầu cháy.

3.3.3.3. *Phân bố vận tốc cháy trong quá trình hòa trộn - cháy*

Mô phỏng số cũng cho kết quả tương tự như việc thể hiện kết quả tính toán về trường áp suất, trường nhiệt độ, các kết quả trường phân bố vận tốc cháy thể hiện trên Hình 3.22 với 12 ô kết quả nhỏ thể hiện trường phân bố vận tốc cháy tại mặt cắt đứng đi qua đường tâm xy lạnh trùng với đường tâm của vòi phun, lỗ phun đối xứng trong không gian buồng đốt theo các GQTK từ 349° GQTK (-11° trước ĐCT) đến 382° GQTK (22° sau ĐCT) với bước ghi đặt là 3° như các điểm ghi tính toán trong phân bố áp suất, nhiệt độ trên động cơ diesel 6LU32.

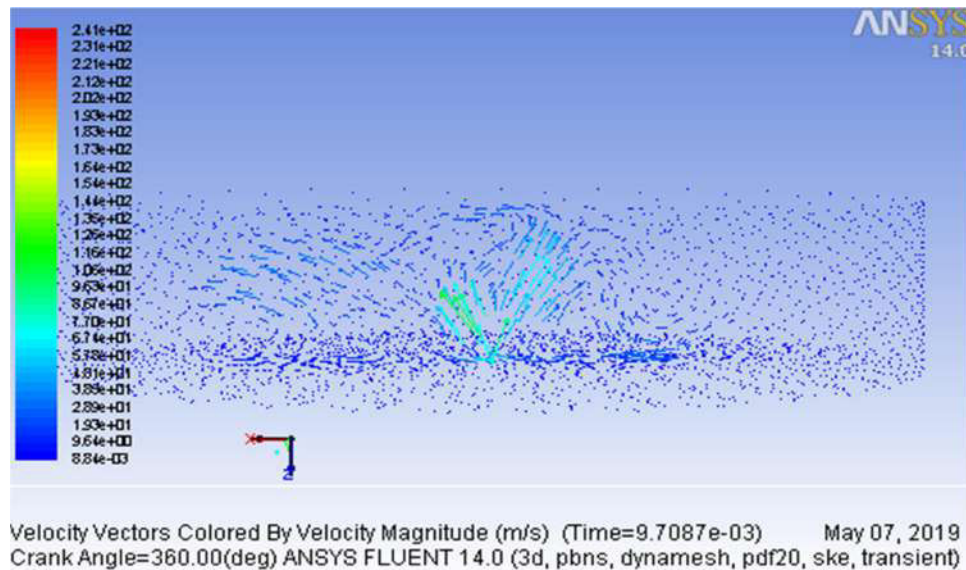


Hình 3.22 (1-6). Phân bố vận tốc cháy trong buồng đốt tại mặt cắt đứng đi qua đường tâm xy lạnh theo các GQTK trên động cơ diesel 6LU32, PO20

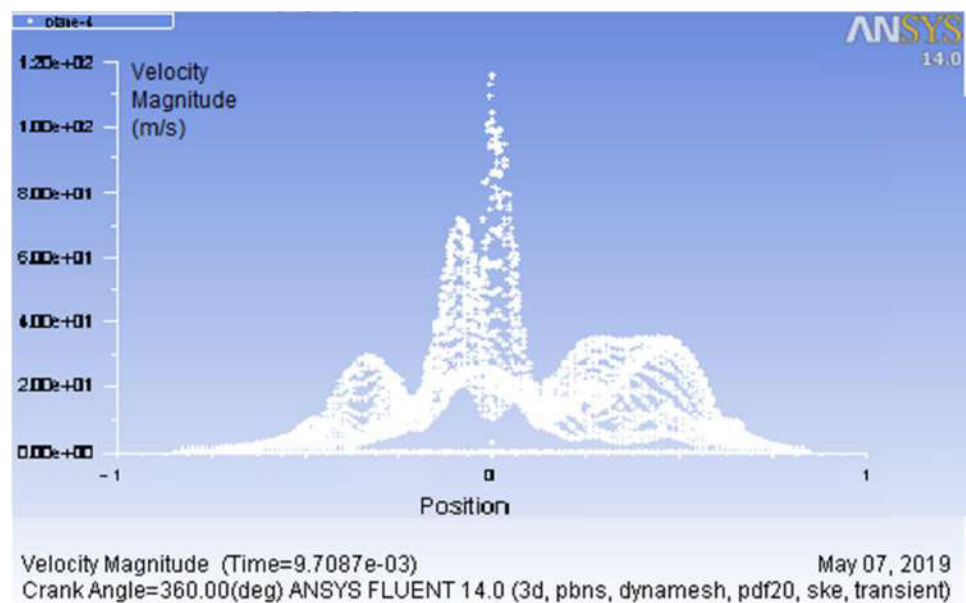


Hình 3.22 (7-12). Phân bố vận tốc cháy trong buồng đốt tại mặt cắt đứng đi qua đường tâm xy lạnh theo các GQTK trên động cơ diesel 6LU32, PO20

Trường phân bố vận tốc cháy có thể phân tích theo dạng véc tơ vận tốc và dạng đồ thị để đánh giá chất lượng hòa trộn-cháy. Hình 3.23 cho thấy trường phân bố véc tơ vận tốc tại thời điểm nhất định tương ứng 360^0 GQTK theo phương chiều, độ lớn của véc tơ vận tốc trong toàn bộ không gian buồng đốt tại các điểm nút lưới chia và tập trung cao ở khu vực không gian đầu vòi phun cho thấy hình ảnh phun nhiên liệu khá đồng đều trong buồng đốt.



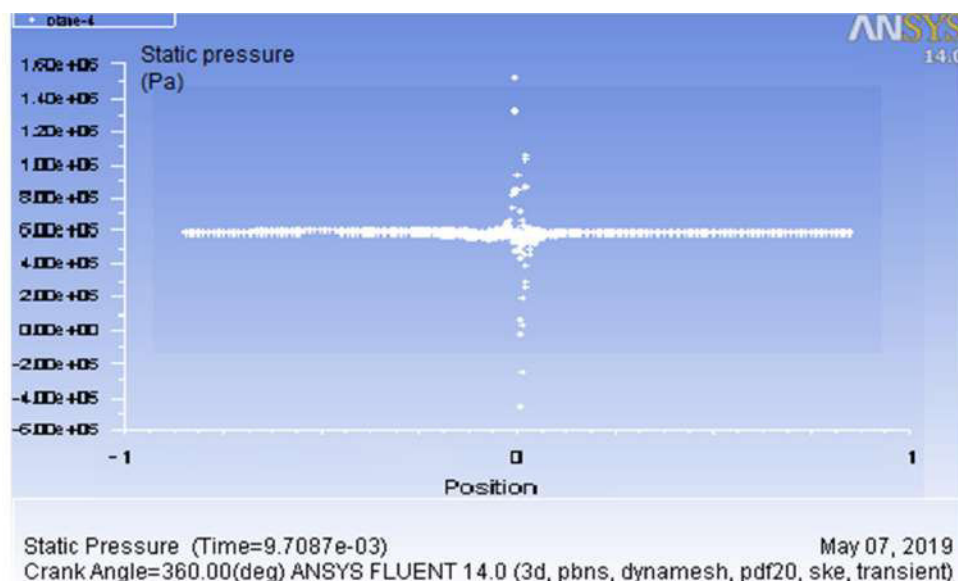
Hình 3.23. Trường vector vận tốc tại mặt cắt đứng đi qua đường tâm xi lanh động cơ diesel 6LU32 tại 360^0 GQTK, PO20



Hình 3.24. Trường độ lớn vận tốc tại mặt cắt đứng đi qua đường tâm xi lanh động cơ diesel 6LU32 tại 360^0 GQTK, PO20

Trên Hình 3.24 là cách thể hiện khác các giá trị véc tơ vận tốc tại các điểm tính toán trong không gian buồng đốt ứng với GQTK ở 360^0 , theo đó vị trí ở khu vực trung tâm đầu vòi phun có giá trị lớn nhất.

Tương tự, mô phỏng số cũng thể hiện giá trị áp suất tĩnh tại mặt cắt đứng đi qua đường tâm xy lanh động cơ ở GQTK ở 360^0 như Hình 3.25 ứng với các nút chia tính toán cho thấy áp suất gần như bằng nhau trong toàn bộ không gian buồng đốt, trừ tại vị trí phun nhiên liệu có áp suất thay đổi đột ngột.



Hình 3.25. Áp suất tĩnh tại mặt cắt đứng đi qua đường tâm xi lanh động cơ diesel 6LU32 tại 360^0 GQTK, PO20

Do một phần kế thừa từ bộ thông số tối ưu đã được lựa chọn của Đề tài cấp nhà nước [20], luận án đã xây dựng mô hình nghiên cứu bằng phương pháp số chỉ tính toán cho trường hợp là loại PO20. Bằng cách phân tích các thông số động học quá trình hòa trộn-cháy từ kết quả của mô phỏng số nhằm kiểm chứng với kết quả thực nghiệm có thể đánh giá PO20 cho chất lượng hòa trộn-cháy khá tốt và cho ra kết quả gần nhất với kết quả thực nghiệm. Những kết quả điển hình như trình bày ở trên để minh chứng, phân tích cho nhiều kết quả thực nghiệm đã làm trình bày trong chương 4 (xem thêm một số tính toán khác trong phần Phụ lục 7).

Tuy nhiên qui trình tính toán này có thể áp dụng để tính cho mọi điểm làm việc và bộ thông số khác, nhưng cần đầu tư nhiều về thời gian, tài chính mua bản quyền phần mềm Ansys Fluent và máy tính cấu hình mạnh mà NCS chưa có điều kiện thực hiện một cách đầy đủ.

3.4. Đánh giá độ tin cậy kết quả tính toán mô phỏng

Ứng dụng CFD và cụ thể là phần mềm Ansys Fluent cho kết quả khá tin cậy và đã được nhiều nhà khoa học trên thế giới công bố, tuy nhiên sai số lại phụ thuộc vào người sử dụng, có thể kể đến sai số mắc phải, điều này có thể lý giải như sau:

- Mô hình tính toán số cho trường hợp trên đã bỏ qua các loại tổn thất và được tính ở tải 60% tương đương với thực nghiệm để phù hợp so sánh các kết quả; do thực nghiệm rất khó thực hiện ở mức tải cao hơn trong điều kiện thực tế tại phòng thí nghiệm;

- Các điều kiện biên được ấn định theo thực nghiệm, nhưng thực tế vận hành các điều kiện biên có thể bị thay đổi;

- Ngoài ra cũng có thể kể đến sai số của phép đo thực nghiệm. Với phép đo thực nghiệm cho ta kết quả tại vị trí đo, còn phương pháp số cho ta kết quả tại tất cả các nút tính toán (theo nút lưới chia), vì vậy có thể thể hiện rõ hơn kết quả tính toán;

- Khi mô hình hóa từ bài toán thực tế thành mô hình tính toán, chúng ta sử dụng công cụ phần mềm để vẽ lại theo đúng kích thước hình học cơ bản, trong đó đã không kể đến được độ nhám bề mặt của các chi tiết;

- Việc chia lưới cho mô hình để rời rạc hóa không gian tính toán, về mặt lý thuyết ta chia lưới đủ mịn cho toàn bộ không gian tính toán sẽ cho sai số nhỏ nhất nhưng điều này dẫn đến số lưới lớn có thể không thực hiện được việc tính toán trên máy tính thông thường. Vì vậy ta phải chia lưới đủ mịn ở những vị trí khảo sát như trong lỗ phun còn vùng khác ta chia lưới thưa hơn;

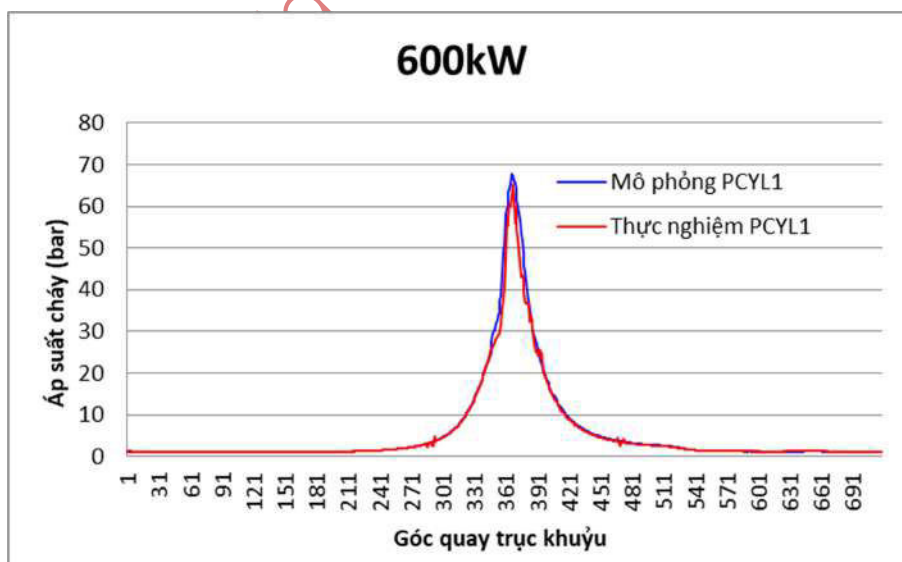
- Sai số của mô hình tính toán: với việc sử dụng phương pháp thể tích hữu hạn với các kỹ thuật giải gần đúng khác nhau dẫn đến sai số phụ thuộc rất nhiều vào người sử dụng, đặc biệt là việc lựa chọn giá trị cho các hệ số thực nghiệm, để hạn chế sai số này NCS đã sử dụng theo kinh nghiệm các tác giả trước đã công bố.

Hiệu chỉnh mô hình: để xác định các điều kiện để hiệu chỉnh mô hình trước khi tiến hành mô phỏng với các thông số đầu vào là thông số của động cơ 6LU32 và của

đặc tính các loại nhiên liệu nghiên cứu, một số yêu cầu quan trọng để đảm bảo kết quả mô phỏng đáng tin cậy là phải so sánh và hiệu chỉnh các thông số mô hình mô phỏng với thực nghiệm ở một số điều kiện nhất định để mô hình mô phỏng sát với thực tế. Một trong các yêu cầu quan trọng đó là sự biến thiên áp suất trong xy lanh của mô hình với áp suất trong xy lanh thực tế của động cơ ở mức tải 60%:

- So sánh sự biến thiên áp suất trong xy lanh được thể hiện trên Hình 3.26, đường nét màu đỏ là đường đồ thị chỉ thị áp suất khi thực nghiệm, đường nét màu xanh là đường đồ thị chỉ thị áp suất khi mô phỏng. Sự trùng khớp của hai đường cong chứng minh các thông số tỉ số nén, áp suất và nhiệt độ ban đầu của hai mô hình là phù hợp. Dữ liệu áp suất trong xy lanh và thiết bị đo áp suất được trình bày trong Phụ lục 2, 3.

- So sánh sự biến thiên áp suất trong xy lanh khi có hỗn hợp nhiên liệu-không khí cháy được thực hiện gián tiếp thông qua áp suất cháy cực đại của động cơ. Dựa theo áp suất cháy cực đại của động cơ, $p_{\max} = 67$ bar ở chế độ tải 60% (600kW), tiến hành hiệu chỉnh các điều kiện của mô hình trong chương trình mô phỏng Ansys Fluent để áp suất cháy cực đại mô hình không vượt quá 3% áp suất cháy cực đại thực tế của động cơ.



Hình 3.26. So sánh diễn biến áp suất trong xi lanh giữa mô phỏng và thực nghiệm

3.5. Kết luận chương 3

- Trên cơ sở lý thuyết ở Chương 2, dựa vào các mô hình toán được lựa chọn để nghiên cứu sự ảnh hưởng của nhiên liệu đến đặc tính phun và đưa ra các kết quả tính toán lý thuyết so sánh giữa hỗn hợp PO với DO về đặc tính vĩ mô (chiều dài phân rã sơ cấp ngắn hơn; góc phun bé hơn; chiều dài tia phun lớn hơn), vi mô (đường kính trung bình hạt nhiên liệu lớn hơn); các kết quả cho thấy thời điểm phun của PO sớm hơn, thời gian cháy trễ ngắn hơn, lưu lượng phun lớn hơn so với DO.

- Đã dựa vào lựa chọn giải pháp ứng dụng mô phỏng số CFD bằng phần mềm Ansys Fluent để hỗ trợ nghiên cứu những hiện tượng xảy ra tại lỗ phun nhiên liệu mà các mô hình lý thuyết được đề cập ở trên chưa xử lý được như: các trường phân bố áp suất, vận tốc và năng lượng động năng rối. Kết quả mô phỏng quá trình phun nhiên liệu qua lỗ phun của vòi phun động cơ 6LU32 bằng phần mềm Ansys Fluent cho những kết quả có cơ sở khoa học từ Hình 3.9 đến 3.14. Các kết quả này phù hợp quy luật thay đổi với các kết quả nghiên cứu bằng mô hình toán về xu thế ảnh hưởng của nhiên liệu hỗn hợp đến chất lượng phun của HTPNL cho động cơ, nhưng cho thấy hình ảnh rõ hơn;

- Kết quả mô phỏng về động năng rối của các loại nhiên liệu khi đi qua lỗ phun được thể hiện cụ thể. Với nhiên liệu hỗn hợp, động năng rối có xu thế cao hơn so với DO, mà trường hợp của nhiên liệu PO100 là tiêu biểu. Trên thực tế, các nhà nghiên cứu trong lĩnh vực này đều khẳng định rằng, động năng rối càng cao sẽ dẫn đến tạo hiện tượng xâm thực càng lớn. Vậy nên, khi sử dụng nhiên liệu hỗn hợp làm nhiên liệu thay thế cho động cơ diesel thủy, phải đặc biệt lưu ý đến hiện tượng xâm thực có thể xảy ra tại lỗ phun, không gian nhiên liệu của vòi phun;

- Kết quả nghiên cứu mô phỏng về quá trình hòa trộn-cháy đối với nhiên liệu hỗn hợp PO20 để minh chứng cho kết quả thực nghiệm thông qua phần mềm Ansys Fluent cho hình ảnh theo thang đo định lượng về áp suất, nhiệt độ và vận tốc cháy của động cơ 6LU32 được thể hiện rất rõ từ Hình 3.20 đến Hình 3.25, cho thấy chất lượng hòa trộn - cháy khá tốt, đảm bảo các thông số chỉ thị gần với thực nghiệm.

Các kết quả nghiên cứu lý thuyết và mô phỏng tại Chương 3 đã hoàn thành mục tiêu đặt ra trong Bảng 1.6 Chương 1 và hoàn toàn đáng tin cậy để có thể áp dụng cho các phần nghiên cứu tiếp theo.

CHƯƠNG 4. NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM

Quá trình thực nghiệm được tiến hành tại Trung tâm thí nghiệm hệ động lực - Trường Đại học Hàng hải Việt Nam, động cơ diesel thủy 6LU32 và 4 loại nhiên liệu (DO, PO10, PO20 & PO30) được lựa chọn cùng với các thiết bị đo, các trang thiết bị phụ trợ hiện đại của hãng AVL, Cộng hòa Áo.

Ở Chương 3, các kết quả nghiên cứu bằng mô hình toán và mô phỏng số đã cho thấy những ảnh hưởng quan trọng của nhiên liệu hỗn hợp dầu cò-dầu diesel theo các tỉ lệ khác nhau đến chất lượng phun nhiên liệu.

Thực nghiệm tập trung nghiên cứu ảnh hưởng của 4 loại nhiên liệu trên đến chất lượng phun và chỉ tiêu kinh tế (g_c) và môi trường (NO_x) để kiểm chứng kết quả mô phỏng và tính toán lý thuyết ở phần 3.1 chương 3.

4.1. Mục đích, chế độ, điều kiện và đối tượng thực nghiệm

4.1.1. Mục đích

- Thu thập đầy đủ các kết quả về quá trình cấp nhiên liệu cho động cơ liên quan đến thời điểm bắt đầu phun nhiên liệu, áp suất phun nhiên liệu cao nhất... trong buồng đốt của động cơ diesel ở 2 chế độ tải nhất định nhằm đánh giá sự ảnh hưởng đến thời điểm phun, lưu lượng và áp suất của hệ thống phun nhiên liệu; đo nồng độ NO_x trong khí thải.

- So sánh những chỉ tiêu quan trọng giữa nghiên cứu lý thuyết và nghiên cứu thực nghiệm trên động cơ diesel thực;

- Khẳng định được sự chọn lựa nhiên liệu hỗn hợp có tỉ lệ dầu cò cao mà khi sử dụng chạy động cơ vẫn đảm bảo các thông số khai thác.

4.1.2. Chế độ tải động cơ và điều kiện thực nghiệm

Thực tế cho thấy, nếu chế độ thực nghiệm càng nhiều, sẽ càng khẳng định mức độ chính xác và tin cậy của kết quả thử nghiệm.

Ở chương trình nghiên cứu này, các kết quả thực nghiệm được tiến hành lấy từ hai chế độ tải khác nhau của động cơ diesel: khoảng 40% tải và 60% tải như thể hiện trên Bảng 4.1.

Thực nghiệm được tiến hành trong PTN ở điều kiện nhiệt độ môi trường là

24⁰C, áp suất môi trường $p_0 = 1$ bar, độ ẩm tương đối là 75%.

Bảng 4.1. Các chế độ thử nghiệm

Chế độ tải của động cơ	Tốc độ (v/p)
40% (400 kW)	238
60% (600 kW)	273

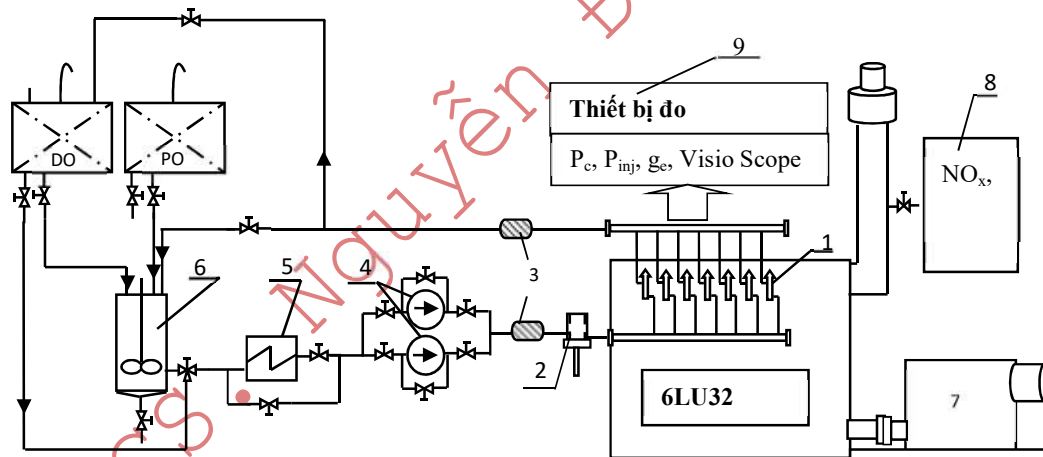
4.1.3. Đối tượng thực nghiệm

Động cơ diesel tàu thủy HANSHIN 6UL32 lai phanh thủy lực Omega 1500 và HTPNL cho động cơ được lắp đặt tại Trung tâm nghiên cứu hệ động lực, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam.

4.2. Trang thiết bị phục vụ nghiên cứu thực nghiệm

4.2.1. Đề xuất mô hình thực nghiệm

Nhằm đáp ứng các mục tiêu về thử nghiệm như đã nêu ở trên, mô hình thực nghiệm được đề xuất như trên Hình 4.1.



1 – Bơm cao áp; 2 – Phin lọc tinh; 3 – Lưu lượng kế; 4 – Bơm cấp nhiên liệu hỗn hợp; 5 – Bồn hâm; 6 – Bộ khuấy trộn nhiên liệu hỗn hợp; 7 – Phanh thủy lực; 8 – Bộ phân tích khí xả; 9- Các thiết bị đo.

Hình 4.1. Sơ đồ hệ thống và các thiết bị thí nghiệm

Các thiết bị được sử dụng để thực hiện thí nghiệm bao gồm động cơ diesel 6LU32, hệ thống cung cấp nhiên liệu với bộ trộn liên tục nhiên liệu (6) để tạo nhiên liệu hỗn hợp (DO & PO) với tỉ lệ khác nhau, phanh thủy lực (7), để tạo mức tải khác nhau (mô-men xoắn) cho động cơ diesel và bình nhiên liệu (DO), kết chứa dầu cọ (PO). Đồng hồ đo lưu lượng (3), máy phân tích khí (8) và các thiết bị đo (9).

4.2.2. Đặc điểm kỹ thuật của động cơ diesel chính tàu thủy 6LU32

Động cơ HANSHIN 6LU32 như Hình 4.2 và có các thông số kỹ thuật được trình bày ở Bảng 3.1. Để tạo tải cho động cơ như mong muốn, động cơ được bố trí lai phanh thủy lực Omega 1500 do hãng AVL - Cộng hòa Áo sản xuất, đây là loại phanh thủy lực hiện đại có độ chính xác rất cao theo thông số Bảng 4.2 [20].



Hình 4.2. Các thiết bị tại Trung tâm nghiên cứu hệ động lực tàu thủy

Bảng 4.2. Các thông số kỹ thuật cơ bản của phanh thủy lực

STT	CÁC THÔNG SỐ	GIÁ TRỊ
1	Loại thiết bị	Omega 1500
2	Công suất cho phép, (kW)	1500
3	Vòng quay, (v/p)	4800
4	Mô men cho phép, (Nm)	9500
5	Nhiệt độ làm việc, (°C)	60
6	Lưu lượng nước công tác, (m ³ /h)	31,5
7	Áp suất của nước công tác, (bar)	≥ 0,3
8	Độ chính xác, (%)	± 0,2

4.2.3. Đặc điểm kỹ thuật của các thiết bị đo

- Thiết bị camera nghiên cứu quá trình công tác động cơ bằng hình ảnh Visio Scope có khả năng chụp ảnh và quay phim quá trình phun, hòa trộn - cháy của nhiên liệu trong buồng đốt của động cơ diesel ở mỗi GQTK. Thiết bị bao gồm 01 cảm biến quang, camera cao tốc, ống nội soi và các thiết bị biến đổi tín hiệu, xử lý dữ liệu:

+ Chụp hình ảnh trong buồng đốt với tốc độ cao, độ phân giải động 12bit, tốc độ chớp 10 μ m đến 10ms;

+ Ống nội soi có làm mát với các góc nhìn 0, 30, 70 độ;

- Thiết bị đo áp suất quá trình cháy p_z , kiểu loại 2516A của hãng Kistler với các thông số kỹ thuật như trong Bảng 4.3.

- Hệ thống thu thập số liệu từ động cơ của hãng AVL, Cộng hòa Áo:

+ Gồm 16 kênh tương tự, 05 kênh áp suất, 06 kênh nhiệt độ, 01 kênh GQTK, 01 kênh mô men, 03 kênh cho các tín hiệu khác;

+ Sai số các cảm biến trong dải công tác không quá 2%;

+ Các thiết bị cảm biến đảm bảo làm việc được trong điều kiện nhiệt độ môi trường đến 800⁰C: 04 bộ cảm biến, biến đổi áp suất 100mbar–40 bar; 01 bộ cảm biến áp suất khí quyển 800–1200 mbar; 06 bộ cảm biến nhiệt độ đến 650⁰C; 01 bộ cảm biến GQTK.

- Thiết bị giám sát áp suất quá trình cháy Indi Modul 621 (đo áp suất công tác, vẽ đồ thị) đảm bảo đo đặc 06 kênh áp suất cháy, 01 kênh áp suất phun với độ chính xác cao, phần mềm xử lý, tính toán và hiển thị số liệu dạng số và dạng đồ thị, bao gồm (Phụ lục 1):

+ Bộ cảm biến và xử lý tín hiệu áp suất cháy tốc độ cao với 06 cảm biến Piezo thạch anh, sai số < 0,01%;

+ 01 cảm biến áp suất phun nhiên liệu cao áp (đến 200MPa);

+ Mô đun xử lý dữ liệu sau đo (Data Post Processing Concerto) kèm phần mềm lập công thức tính toán, xử lý đồ họa.

Bảng 4. 3. Thông số kỹ thuật của thiết bị đo áp suất cháy cực đại p_z

Phạm vi đo (MPa)	0 – 25
Độ nhạy của cảm biến (mV/bar)	4 – 40
Độ chính xác của giá trị áp suất đo (mbar)	$\leq \pm 0,5$
Phạm vi vòng quay trục khuỷu (1/phút)	25 – 4000
Phạm vi nhiệt độ đo ($^{\circ}\text{C}$)	0 - 50
Số lượng bộ nhớ	2
Số lần đo và ghi lại của mỗi bộ nhớ	20
Kết nối máy tính	RS-232C
Kích thước (mm)	62x92x45
Trọng lượng (g)	350
Khả năng hoạt động liên tục của pin (giờ)	3

- Bể thử vòi phun: bàn cân tiêu chuẩn vòi phun tại Trung tâm thí nghiệm hệ động lực tàu thủy – Trường Đại học Hàng hải VN;

- Vòi phun động cơ 6LU32 tại Phòng thí nghiệm Hệ động lực tàu thủy trong tình trạng hoàn toàn bình thường của xy lanh số 1 để kiểm tra áp suất phun và sự phun rớt.

- Cân tiêu ly điện tử; thiết bị đo độ nhớt; kính lúp.

- Thiết bị hâm và nhiệt kế thủy ngân: hâm nhiên liệu ở nhiệt độ 40°C .

- Thước cặp điện tử; Thiết bị đo đường kính chính xác Roundtest - RA-1600 Series 211- Roundness Cylindricity Measuring System, Mitutoyo và thiết bị đo độ nhám bề mặt PCE-RT1200.

- Hệ thống đo, kiểm soát khí thải AMA i60 R1 và bộ chia khí bao gồm: cảm biến quang hóa CLD, ion hóa FID, CO, CO₂ NDIR, O₂. Hệ thống đảm bảo xác định chính xác hàm lượng các chất có hại trong khí thải (NO_x, O₂, HC, CO, CO₂) theo tiêu chuẩn IMO;

- Bên cạnh đó còn có các thiết bị khác như: nhiệt kế, áp kế, thiết bị đánh giá tình trạng kỹ thuật của vòi phun và bơm cao áp, đồng hồ bấm giây, thiết bị đo tiêu hao nhiên liệu, bầu hâm nhiên liệu...

Tất cả các thiết bị đo áp suất, nhiệt độ, vòng quay,... đều được kiểm định bởi

cơ quan đăng kiểm quốc tế Lloyd, DNV nên đảm bảo độ chính xác như được hãng sản xuất khuyến cáo.

4.2.4. Nhiên liệu thí nghiệm

Mẫu nhiên liệu: nhiên liệu thí nghiệm là hỗn hợp gồm dầu cò thô (dầu cò nguyên chất) được mua từ Malaysia và nhiên liệu diesel (DO) được mua tại Việt Nam với các tính chất lý, hóa được phân tích theo tiêu chuẩn Việt Nam như Bảng 1.5, Chương 1.

Trong quá trình thử nghiệm, NCS đã sử dụng 4 loại nhiên liệu bao gồm DO, PO10, PO20 và PO30. Trong phần nghiên cứu lý thuyết, có đề cập đến nhiên liệu PO100, tuy nhiên ở phần thực nghiệm không thể tiến hành cho động cơ 6LU32 làm việc với loại nhiên liệu PO100 do lo ngại sẽ gặp những sự cố ngoài ý muốn và có thể gây ra những hậu quả lớn làm ảnh hưởng đến sự hoạt động chung của Trung tâm thí nghiệm hệ động lực.

4.2.5. Quy trình đo và xử lý số liệu thực nghiệm

- Mỗi loại nhiên liệu đều được thử nghiệm ở 2 chế độ tải, như vậy tổng cộng sẽ cần thực hiện 8 lần thí nghiệm. Mỗi lần thí nghiệm cần thực hiện khoảng từ 3-5 giờ và cần có sự giúp đỡ của khoảng 10 thí nghiệm viên. Trung bình động cơ diesel 6LU32 tiêu thụ từ 70kg đến 90kg nhiên liệu/giờ.

- Lượng tiêu hao nhiên liệu được đo theo chỉ phí nhiên liệu giờ (kg/h) để tính toán suất tiêu hao nhiên liệu có ích của động cơ (g/kW.h).

- Đo áp suất cháy, thời điểm phun nhiên liệu và thời điểm bốc cháy.

- Bố trí thiết bị camera chụp ảnh và quay phim Visio Scope được gắn vào nắp xy lanh.

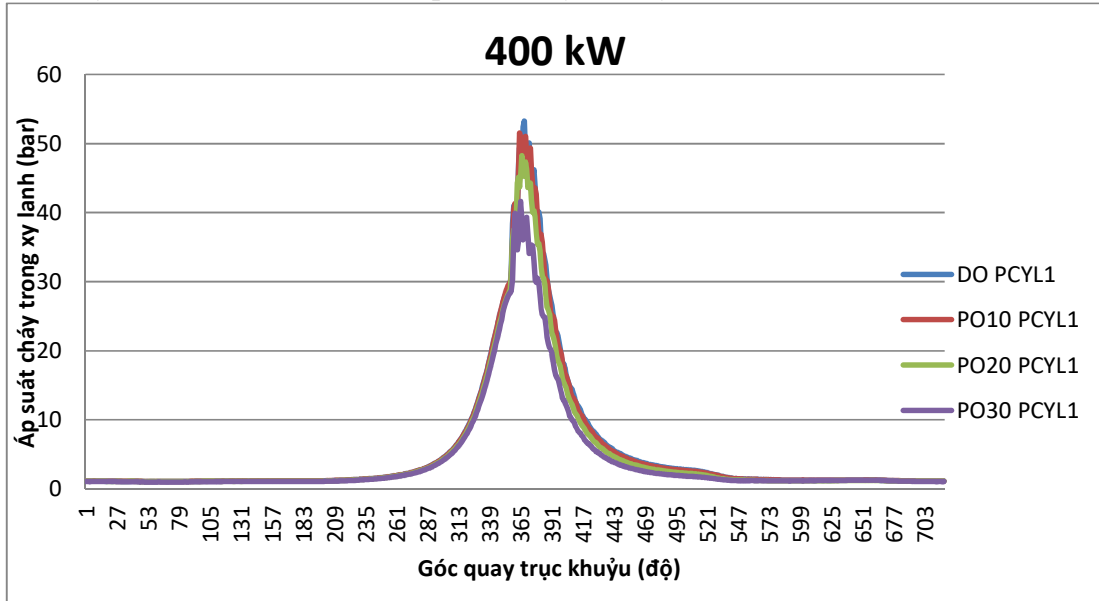
- Các thiết bị đo được hiệu chỉnh về điều kiện chuẩn trước khi đo thực nghiệm, số liệu thu được cho một lần đo là trung bình của các giá trị có tần suất xuất hiện nhiều nhất trong thời gian ghi nhận.

- Để làm rõ được các vấn đề, NCS sẽ áp dụng biện pháp diễn giải, phân tích và so sánh để xử lý các kết quả thí nghiệm.

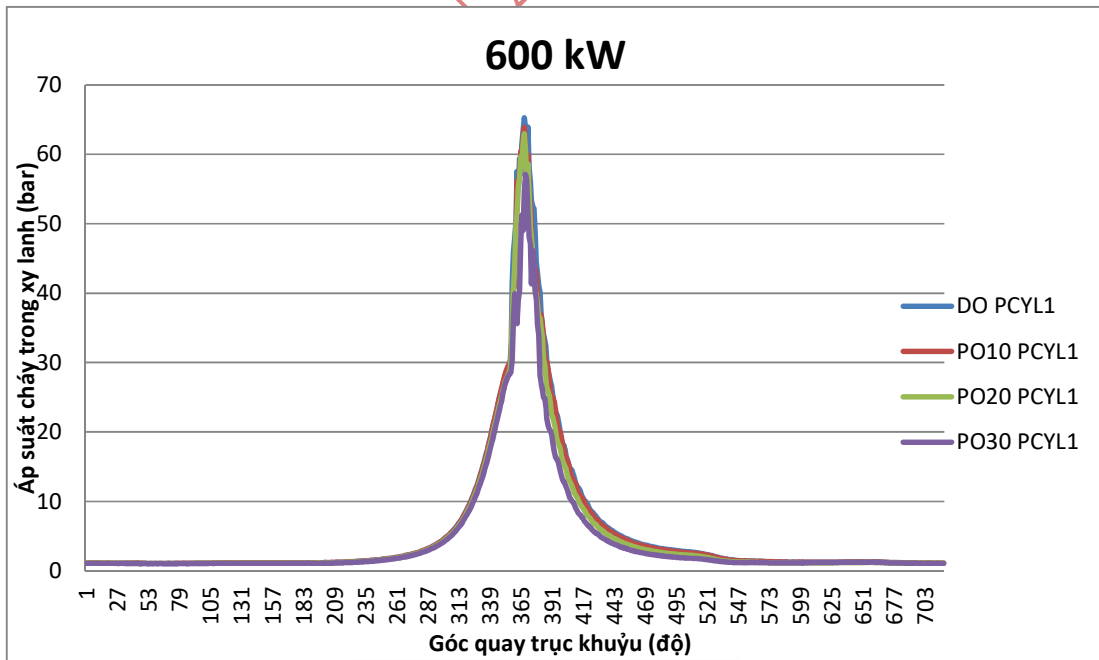
4.3. Kết quả nghiên cứu thực nghiệm

4.3.1. Áp suất cháy trong xy lanh động cơ

Kết quả áp suất tại ở mức tải 400 kW, 600 kW trình bày trong Phụ lục 2, 3. Sau đây có thể biểu diễn đồ thị áp suất cháy cho xy lanh số 1.



Hình 4.3. Đồ thị áp suất cháy đo thực tế động cơ 6LU32 của 4 loại nhiên liệu ở cùng xy lanh số 1, 400kW



Hình 4.4. Đồ thị áp suất cháy đo thực tế động cơ 6LU32 của 4 loại nhiên liệu ở cùng xy lanh số 1, 600kW

Bảng 4.4. Giá trị p_z đối với các loại nhiên liệu ở 2 chế độ tải khác nhau

Chế độ tải của động cơ	Áp suất cháy cực đại - p_z (bar)			
	DO	PO10	PO20	PO30
40%	53,245	52,869	49,241	45,823
60%	65,245	63,869	62,941	59,823

- Áp suất trong xy lanh số 1 của động cơ 6LU32 khi làm việc với các loại nhiên liệu khác nhau có đường cong biểu diễn theo đồ thị là tương đương nhau, nhưng áp suất cháy cực đại của nhiên liệu hỗn hợp PO có xu hướng nhỏ hơn so với của nhiên liệu DO (sử dụng thiết bị đo xem ở Phụ lục 1).

4.3.2. Thời điểm bắt đầu phun và áp suất phun lớn nhất

- Các kết quả đo được về thời điểm bắt đầu phun nhiên liệu, áp suất phun nhiên liệu lớn nhất khi thử nghiệm 4 loại nhiên liệu ở 2 chế độ tải khác nhau đối với động cơ diesel thủy 6LU32 được thể hiện trên Bảng 4.5, có thể biểu diễn dạng đồ thị như trên Hình 4.5 và Hình 4.6 (sử dụng thiết bị đo xem ở Phụ lục 1).

Để có thể phân tích và đánh giá được sự ảnh hưởng của nhiên liệu hỗn hợp đến thời điểm phun và áp suất phun của hệ thống nhiên liệu nói chung thông qua các kết quả thử nghiệm trên động cơ diesel 6LU32, cần phải thống nhất một số quan điểm sau đây:

- Áp suất bắt đầu phun nhiên liệu p_{inj} là áp suất có giá trị bằng hoặc lớn hơn áp suất đã được hiệu chỉnh để mở vòi phun (≥ 280 bar). Do đó, việc xác định áp suất bắt đầu phun nhiên liệu trên đường đặc tính bằng một điểm trên đường đặc tính có giá trị lớn hơn 280 bar và sau đó giảm xuống duy trì ở giá trị 280 bar hoặc lớn hơn;

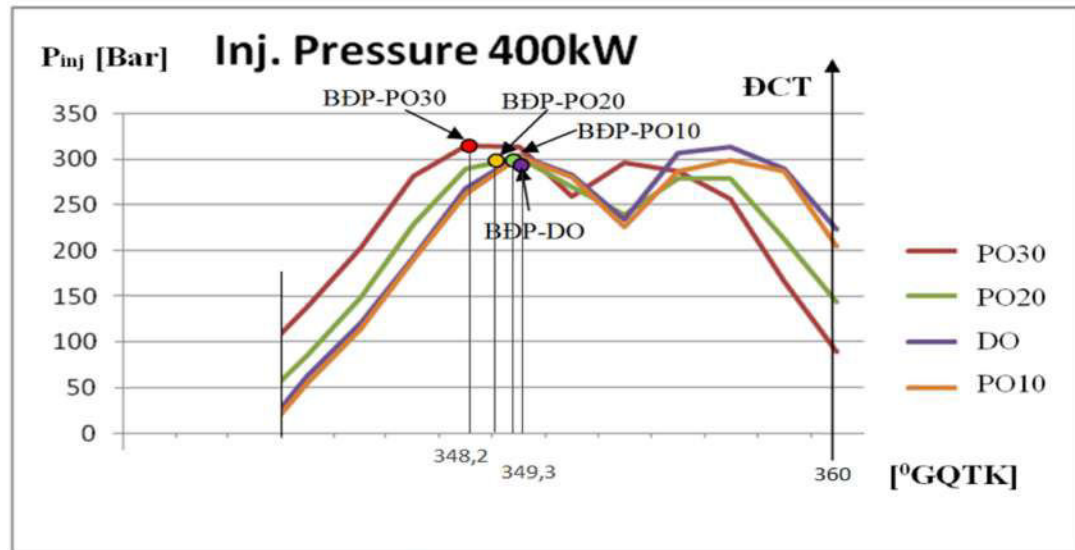
- Áp suất phun nhiên liệu lớn nhất $p_{max-inj}$ là áp suất có giá trị cao nhất được thể hiện trên đường đặc tính áp suất từ bơm cao áp tới vòi phun;

- Các kí hiệu, chẳng hạn “BĐP-PO30” là bắt đầu phun của nhiên liệu hỗn hợp PO30; còn kí hiệu $p_{max-inj}$ là áp suất phun nhiên liệu lớn nhất.

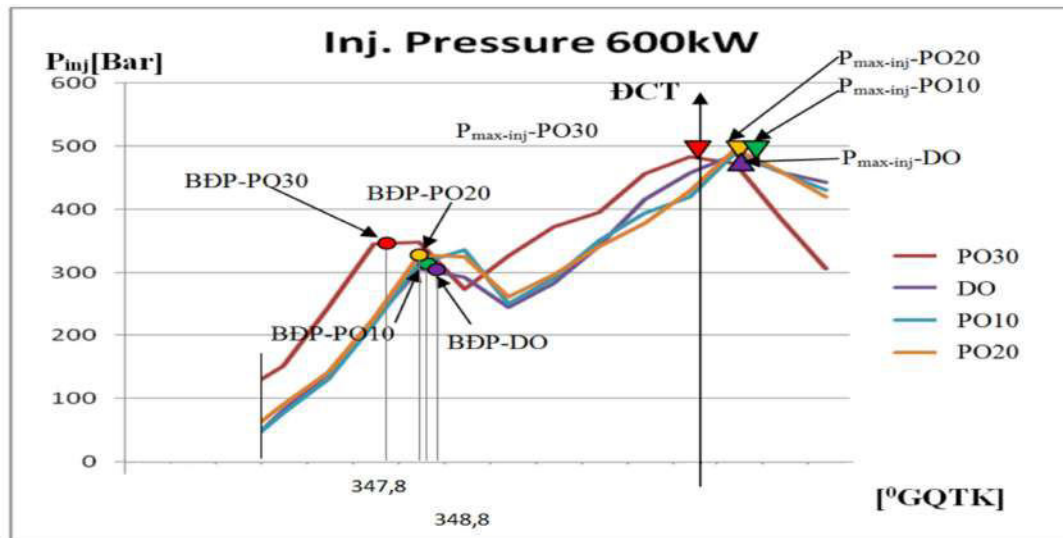
- Với ý tưởng giúp cho quá trình phân tích được rõ ràng và dễ hiểu hơn, thời điểm bắt đầu phun nhiên liệu đã được đánh dấu bằng các vòng tròn với màu sắc khác nhau và giá trị áp suất phun lớn nhất cũng được đánh dấu bằng các tam giác với màu sắc tương tự đối với từng loại nhiên liệu;

Bảng 4.5. Thời điểm bắt đầu phun và áp suất phun nhiên liệu lớn nhất

STT	Vòng quay (v/p)	Thời điểm bắt đầu phun ($^{\circ}$ GQTK)				Áp suất phun lớn nhất (bar)			
		DO	PO10	PO20	PO30	DO	PO10	PO20	PO30
1	238	349,3	349,0	348,7	348,2	300	303	308	314
	Chênh lệch so với DO	/	-0,3	-0,6	-1,1	/	+3	+8	+14
2	273	348,8	348,5	348,1	347,8	459	483	486	495
	Chênh lệch so với DO	/	-0,3	-0,7	-1,0	/	+24	+27	+36



Hình 4.5. Thời điểm bắt đầu phun và áp suất phun nhiên liệu lớn nhất ở chế độ 400kW của động cơ 6LU32



Hình 4.6. Thời điểm bắt đầu phun và áp suất phun nhiên liệu lớn nhất ở chế độ 600kW của động cơ 6LU32

Từ những kết quả trên cho thấy:

- Thời gian cấp nhiên liệu cho động cơ diesel 6LU32 được thực hiện trong vòng khoảng 16^0 GQTK ở chế độ 273 v/p. Đặc tính áp suất cấp nhiên liệu lập “đỉnh” hai lần trong toàn bộ thời gian cấp nhiên liệu và “đỉnh” lần 1 chính là thời điểm bắt đầu phun nhiên liệu (hoặc bắt đầu cấp) vào động cơ diesel; còn “đỉnh” lần 2 thường là giá trị áp suất phun nhiên liệu cao nhất ($p_{\max-\text{inj}}$);

- Ở cùng một chế độ tải của động cơ, nhiên liệu hỗn hợp đều có thời điểm bắt đầu phun sớm hơn so với nhiên liệu DO. Thời điểm phun nhiên liệu càng sớm, khi nhiên liệu hỗn hợp càng có tỉ lệ dầu thực vật cao; nếu so sánh ở hai chế độ tải và cùng một loại nhiên liệu cho thấy, thời điểm phun nhiên liệu xảy ra sớm hơn ở chế độ tải cao hơn.

- Tuy nhiên, có sự chênh lệch giữa kết quả tính toán và đo thực tế. Nguyên nhân của sự chênh lệch giữa lý thuyết và thực tế là do thực tế đo đặc phụ thuộc vào nhiều yếu tố như: sai số trong khi đo, có sự rò rỉ trong đường ống cao áp, ở tại bộ đôi piston-xy lanh bơm cao áp, ở bộ đôi kim phun - lỗ kim phun của vòi phun...;

- Nhiên liệu hỗn hợp có áp suất phun lớn nhất $p_{\max-\text{inj}}$ cao hơn so với nhiên liệu DO và có xu thế tỉ lệ thuận với hàm lượng dầu thực vật trong nhiên liệu hỗn hợp.

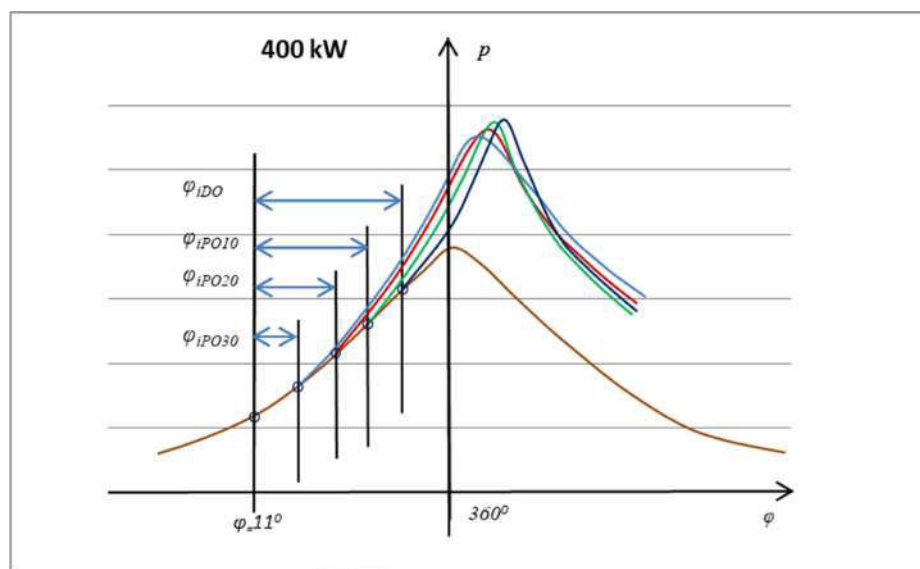
- So sánh các kết quả này với các kết quả đã nghiên cứu tính toán lý thuyết ở Bảng 3.5, Chương 3 cho thấy sự phù hợp với quy luật thay đổi về thời điểm bắt đầu phun của các loại nhiên liệu nghiên cứu.

4.3.3. Thời gian cháy trễ của nhiên liệu

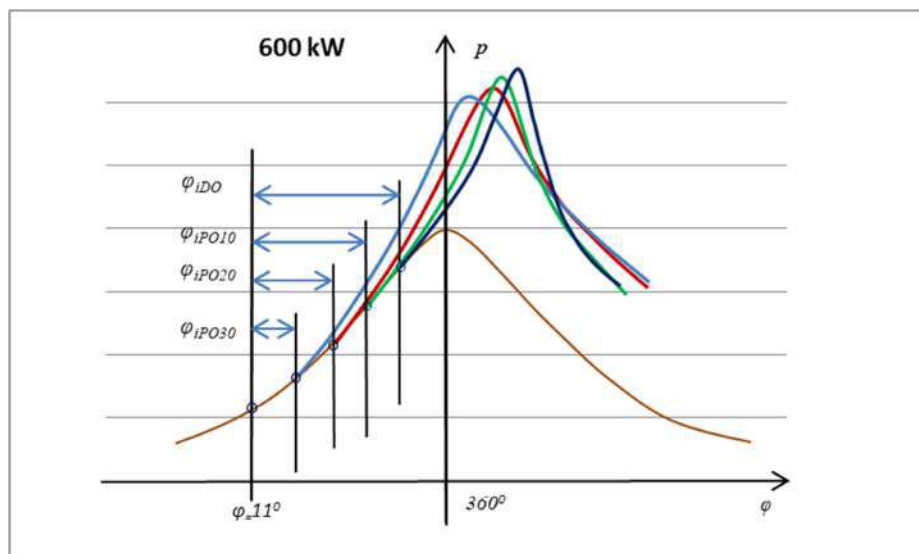
Trong mục tiêu đánh giá tính cháy trễ của nhiên liệu bằng thực nghiệm, NCS đã áp dụng giải pháp đo áp suất quá trình cháy của nhiên liệu bằng thiết bị đo áp suất chuyên dụng, hệ thống máy tính trung tâm của thiết bị đo AVL sẽ tự động vẽ đồ thị áp suất quá trình cháy của 4 loại nhiên liệu ở hai chế độ tải khác nhau của động cơ diesel 6LU32 và đưa ra các thông số về thời điểm bốc cháy nhiên liệu sau ĐCT. Bằng phương pháp này, các kết quả đo được về điểm bốc cháy nhiên liệu sẽ tính được thời gian cháy trễ của các loại nhiên liệu được thể hiện tại Bảng 4.6 và có thể biểu diễn bằng đồ thị trên Hình 4.7 và 4.8 (xem thiết bị đo Phụ lục 1).

Bảng 4.6. Kết quả thực nghiệm về thời gian cháy trễ của nhiên liệu

ST T	Chế độ tải (kW)	Thời gian cháy trễ của nhiên liệu ($^{\circ}\text{GQTK}$)			
		DO	PO10	PO20	PO30
1	400	2,4082	2,3879	2,3663	2,3430
	Chênh lệch so với DO ($^{\circ}\text{GQTK}$)	/	-0,0203	-0,0419	-0,0652
2	600	2,4235	2,3774	2,3560	2,3312
	Chênh lệch so với DO ($^{\circ}\text{GQTK}$)	/	-0,0461	-0,0675	-0,0923



Hình 4.8. Đồ thị quá trình cháy và thời gian cháy trễ của các loại nhiên liệu đối với động cơ 6LU32 ở chế độ tải 400kW



Hình 4.7. Đồ thị quá trình cháy và thời gian cháy trễ của các loại nhiên liệu đối với động cơ 6LU32 ở chế độ tải 600kW

Trên cơ sở các kết quả đo đạc được về sự thay đổi áp suất cháy trong buồng đốt của động cơ diesel 6LU32 được thể hiện trên từng 1/2 độ góc quay trục khuỷu cũng đã thể hiện rất rõ thời điểm bắt đầu cháy của nhiên liệu. Tại Bảng 4.6 các kết quả thể hiện thời gian cháy trễ của 4 loại nhiên liệu được thống kê và qua đây cho thấy:

- Các loại nhiên liệu hỗn hợp PO10, PO20 và PO30 đều có thời điểm bốc cháy sớm hơn so với nhiên liệu DO do có thời gian cháy trễ ngắn hơn.
- Nếu so sánh ở các chế độ tải khác nhau, thời điểm bắt đầu cháy của nhiên liệu ở chế độ tải cao (600kW) là sớm hơn so với chế độ tải thấp (400kW). Điều này hoàn toàn hợp lý, bởi vì ở chế độ tải cao, lượng nhiên liệu được cấp nhiều hơn, sớm hơn và chất lượng phun nhiên liệu tốt hơn (hóa sương tốt hơn), nên chất lượng hòa trộn - cháy tốt hơn.
- So sánh các kết quả này với các kết quả đã nghiên cứu tính toán lý thuyết ở Bảng 3.6, Chương 3 cho thấy sự phù hợp với quy luật thay đổi về thời gian cháy trễ của các loại nhiên liệu nghiên cứu.

4.3.4. Suất tiêu hao nhiên liệu

Áp dụng phương pháp đo truyền thống với thiết bị đo trình bày ở Phụ lục 1: đo lượng tiêu thụ nhiên liệu của động cơ trong một thời gian ở các chế độ tải khác nhau và tính suất tiêu hao nhiên liệu của động cơ.

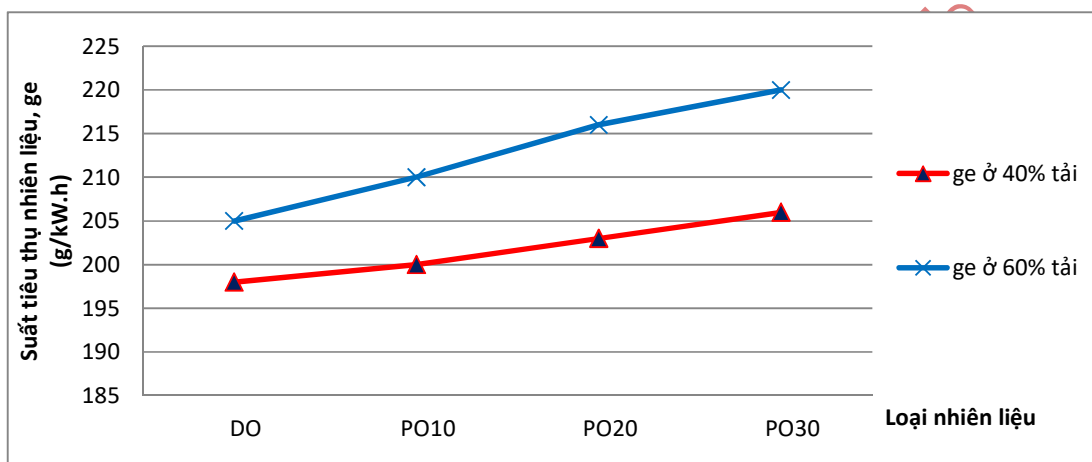
Trên Bảng 4.7 là các số liệu đo đạc được thông qua thử nghiệm sử dụng 4 loại nhiên liệu ở hai chế độ tải khác nhau.

Bảng 4.7. Suất tiêu hao nhiên liệu đối với các loại nhiên liệu khác nhau

STT	Loại nhiên liệu	Suất tiêu thụ nhiên liệu (g/kW.h)			
		Tải/vòng quay (40%/238v/p)	Tăng so với DO	Tải/vòng quay (60%/273v/p)	Tăng so với DO
1	DO	198	/	205	/
2	PO10	200	2 (1,0%)	210	5 (2,4%)
3	PO20	203	5 (2,5%)	216	11 (5,3%)
4	PO30	206	8 (4,0%)	220	15 (7,3%)

Các kết quả thực nghiệm về suất tiêu thụ nhiên liệu của động cơ diesel 6LU32 khi sử dụng các loại nhiên liệu khác nhau cho thấy khi sử dụng nhiên liệu hỗn hợp, suất tiêu thụ nhiên liệu cao hơn so với sử dụng nhiên liệu DO và được biểu thị ở đồ thị Hình 4.9.

Ở chế độ tải cao 600kW (60% tải), suất tiêu thụ nhiên liệu khi sử dụng nhiên liệu hỗn hợp PO30 cao hơn so với khi sử dụng DO khoảng 7,3% và sự chênh lệch này ở chế độ tải 400kW (40% tải) tăng khoảng 4%.



Hình 4.9. Suất tiêu thụ nhiên liệu đối với các loại nhiên liệu ở hai chế độ tải

4.3.5. Đánh giá sự thay đổi của lưu lượng phun

Chức năng định lượng là một trong những nhiệm vụ quan trọng của hệ thống nhiên liệu. Việc đánh giá sự ảnh hưởng của nhiên liệu hỗn hợp đến chức năng định lượng là nhiệm vụ cần thiết. Việc đánh giá chức năng định lượng của HTPNL thực chất là đánh giá thông qua lượng phun nhiên liệu cho một chu trình ở chế độ tải định mức. Về cơ bản, hệ thống thí nghiệm trên băng thử vòi phun trong PTN.

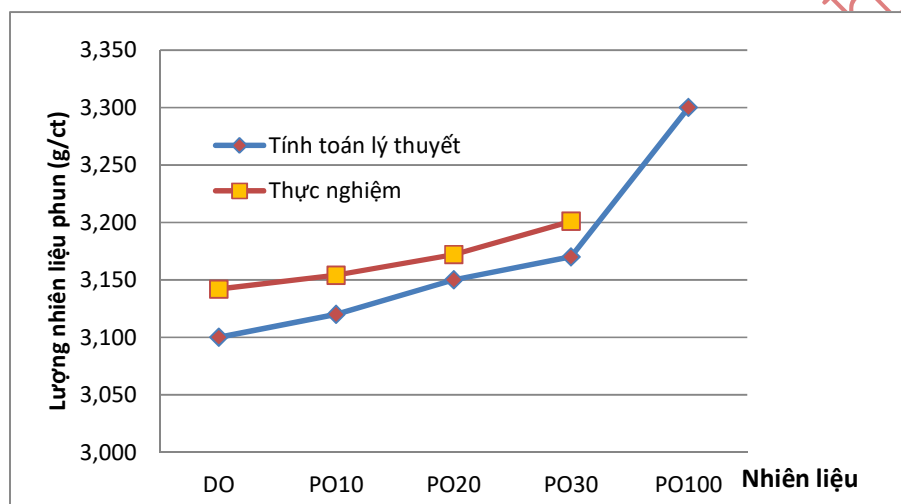
Sau khi tiến hành thử nghiệm với thiết bị đo như Phụ lục 8, các kết quả về lượng nhiên liệu phun theo các điều kiện thử nghiệm được thể hiện trên Bảng 4.8.

Bảng 4.8. Ảnh hưởng của loại nhiên liệu đến định lượng cấp nhiên liệu

Lượng nhiên liệu phun/lần (g/ct)	Loại nhiên liệu			
	DO	PO10	PO20	PO30
Q, (g/ct)	3,142	3,154	3,172	3,201
Sự thay đổi so với DO, (%)	/	+0,381	+0,946	+1,843

Dựa vào kết quả của Bảng 4.8 so sánh kết quả thử nghiệm với kết quả tính toán ở Bảng 3.7 Chương 3 có thể biểu diễn so sánh lượng nhiên liệu phun vào động cơ theo đồ thị Hình 4.10.

Từ đồ thị cho thấy lượng nhiên liệu cấp cho một chu trình của nhiên liệu hỗn hợp lớn hơn so với nhiên liệu DO và tỉ lệ với phần trăm dầu cò trong hỗn hợp. Theo thực nghiệm lượng cấp nhiên liệu cho một chu trình của nhiên liệu PO30 tăng tới 1,843% và PO20 tăng khoảng 0,946% so với nhiên liệu DO.



Hình 4.10. Ảnh hưởng của loại nhiên liệu đến lượng nhiên liệu phun vào động cơ

4.3.6. Chất lượng phun sương, tạo hỗn hợp và cháy

Vấn đề phun sương nhiên liệu, tạo hỗn hợp hòa trộn giữa nhiên liệu và không khí nén trong buồng đốt động cơ đã được đề cập nghiên cứu lý thuyết ở Chương 3.

Để có được hình ảnh về phun sương nhiên liệu và cháy của nhiên liệu khi động cơ đang làm việc là vấn đề tương đối khó khăn. Tuy nhiên, Trung tâm nghiên cứu hệ động lực diesel thủy, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam đã được trang bị thiết bị camera tốc độ cao Visio Scope của hãng AVL có cấu tạo như trình bày trong Phụ lục 1 và đây chính là phương tiện để thực hiện mục tiêu chụp hình ảnh, quay phim trong buồng đốt động cơ.

Trong quá trình thí nghiệm, lần lượt 4 loại nhiên liệu được thử nghiệm và thiết bị Visio Scope được áp dụng để ghi lại hình ảnh quá trình diễn biến của thời

điểm bắt đầu cấp nhiên liệu vào buồng đốt động cơ, thời điểm bắt đầu cháy và diễn biến quá trình cháy. Tại Hình 4.11 cho thấy thời điểm nhiên liệu bắt đầu được phun vào buồng đốt của xy lanh số 1 động cơ diesel thủy 6LU32 ở vòng quay 273 v/p tương đương 600kW (60% tải).

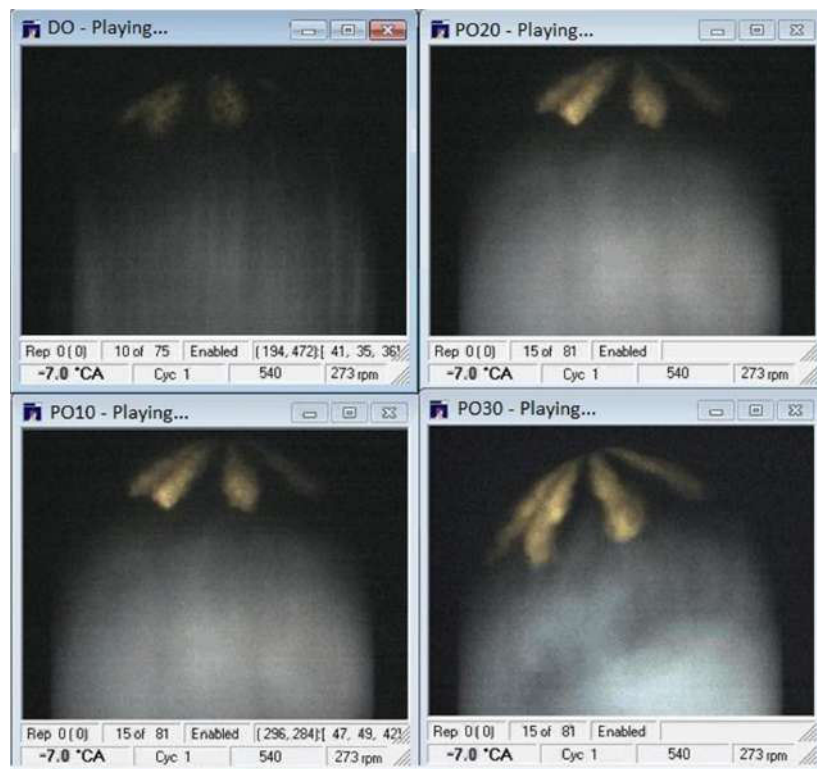
Thiết bị Visio Scope đã chụp được hình ảnh vòi phun bắt đầu phun nhiên liệu vào buồng đốt của động cơ 6LU32 khá rõ nét.

Xét tại thời điểm $-11,7^{\circ}\text{GQTK}$ trước ĐCT ở Hình 4.11, tia phun của nhiên liệu DO là rất mờ nhạt, còn tia phun của nhiên liệu PO10, PO20 là khá; còn hình ảnh tia phun của PO30 là rõ hơn cả. Tiếp theo tại thời điểm -7°GQTK trước ĐCT ở Hình 4.12 cũng cho thấy hình ảnh tương tự nhưng lúc này hình ảnh phun đã rõ nét hơn. Như vậy cũng có thể thấy rõ nhiên liệu hỗn hợp được phun sớm hơn so với nhiên liệu DO dù cho động cơ diesel đều làm việc ở điều kiện tương đương nhau.

Qua quan sát các hình ảnh thực tế này phản ánh đúng qui luật thay đổi về thời điểm bắt đầu phun nhiên liệu được thể hiện tại Bảng 3.5, Bảng 4.5 và hình ảnh mô phỏng trong phần 3.2 Chương 3.



Hình 4.11. Hình ảnh nhiên liệu bắt đầu phun ở $-11,7$ độ GQTK trước ĐCT, 273 v/p

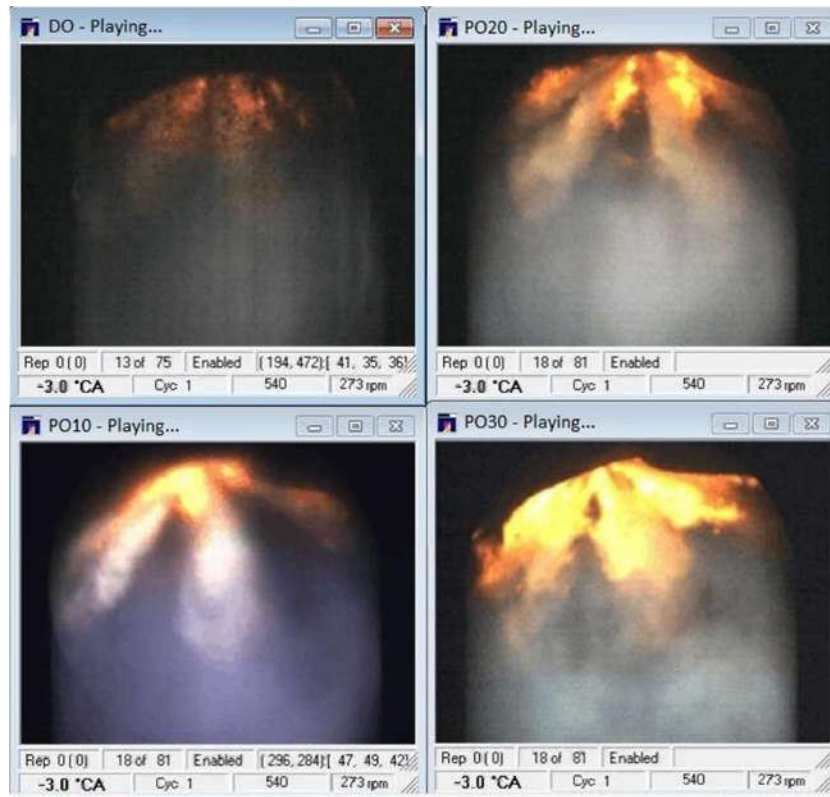


Hình 4.12. Hình ảnh nhiên liệu hòa trộn, cháy ở -7 độ GQTK trước ĐCT, 273 v/p

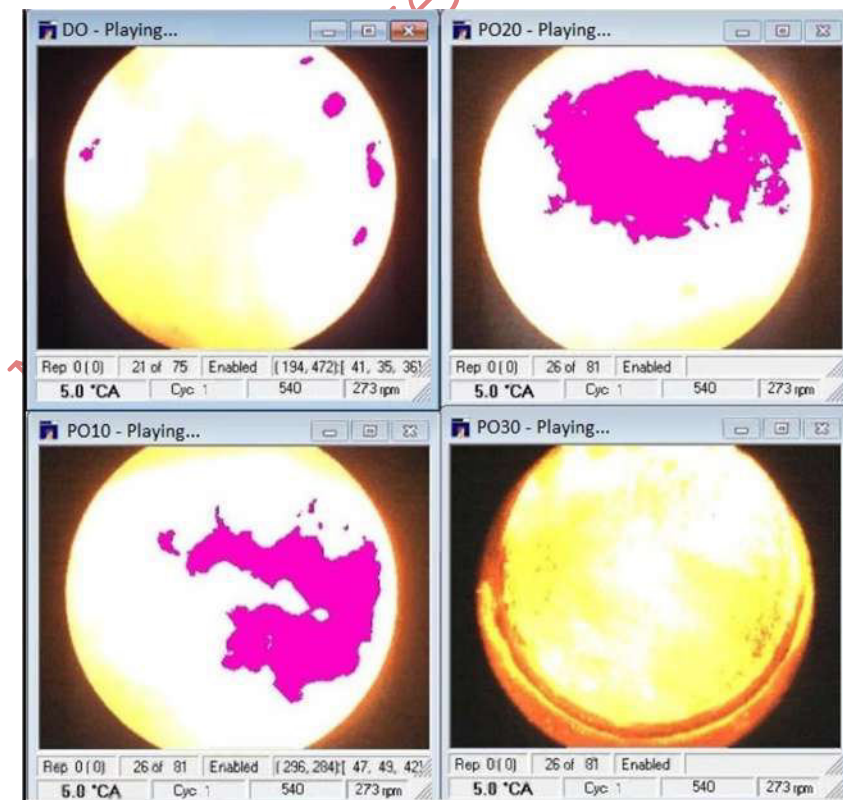
Hình 4.13 xét ứng với thời điểm -3⁰GQTK trước ĐCT là hình ảnh chụp được bắt đầu quá trình cháy với các tia màu vàng (ngọn lửa cháy), nhiên liệu PO30 cháy rõ ràng nhất, sau đó là PO20, PO10 và cuối cùng mới là DO. Hình ảnh nhiên liệu bắt đầu cháy cũng cho thấy kết quả nghiên cứu được nêu tại Bảng 4.6 nhiên liệu hỗn hợp PO được phun vào buồng đốt động cơ sớm hơn, thời gian cháy trễ ngắn hơn và bắt đầu cháy xảy ra sớm hơn so với nhiên liệu DO.

Ngoài ra, quan sát trực quan các kết quả hình ảnh cũng có thể đánh giá về sự hòa trộn của nhiên liệu và không khí nén trong buồng đốt. Hình ảnh hòa trộn của nhiên liệu DO và PO10 có độ mịn rất cao, điều này đồng nghĩa với kích thước hạt nhiên liệu là khá nhỏ; còn đối với PO20 độ mịn có giảm đi, tuy nhiên đối với nhiên liệu hỗn hợp PO30 độ mịn kém hơn và tạo nhiều vệt đậm đi từ trên xuống. Các vệt đậm này có thể là những “tia nhỏ” nhiên liệu có kích thước hạt lớn hơn và xâm nhập vào không gian buồng đốt sâu hơn.

Hình ảnh nhiên liệu cháy của 4 loại nhiên liệu trong buồng đốt động cơ diesel 6LU32 tiếp tục được trích xuất ở thời điểm sau ĐCT 5⁰GQTK, 11⁰GQTK và 22⁰GQTK thể hiện từ Hình 4.14 đến Hình 4.16.



Hình 4.13. Hình ảnh nhiên liệu cháy ở -3 độ GQTK trước ĐCT, 273 v/p



Hình 4.14. Hình ảnh nhiên liệu cháy ở 5 độ GQTK sau ĐCT, 273 v/p

Ở Hình 4.14 thể hiện hình ảnh tại thời điểm 5⁰GQTK hỗn hợp nhiên liệu-không khí cháy rất rõ ràng và đến 11⁰GQTK cháy rất mạnh - Hình 4.15, khi quan sát màu cháy có thể rút ra một số kết luận:

- Nhiên liệu DO có màu cháy sáng nhất, nhiên liệu PO10 và PO20 có những điểm màu sẫm, tuy nhiên PO20 có nhiều hơn đôi chút. Nhiên liệu PO30 có màu cháy vàng sẫm;

- Với màu sắc cháy khác nhau như vậy có thể nhận định rằng, nhiệt độ cháy của các loại nhiên liệu khác nhau và DO có nhiệt độ cháy cao nhất, còn PO30 có nhiệt độ cháy thấp nhất. Màu sắc cháy của nhiên liệu PO30 cho thấy chất lượng cháy với nhiều khói muội;

- Thông qua nhiệt độ cháy của từng loại nhiên liệu và theo quan điểm kinh nghiệm khai thác động cơ, đây có thể là một nguyên nhân làm cho quá trình cháy của nhiên liệu hỗn hợp sẽ tạo NO_x ít hơn so với DO vì nhiệt độ cháy thấp hơn DO;

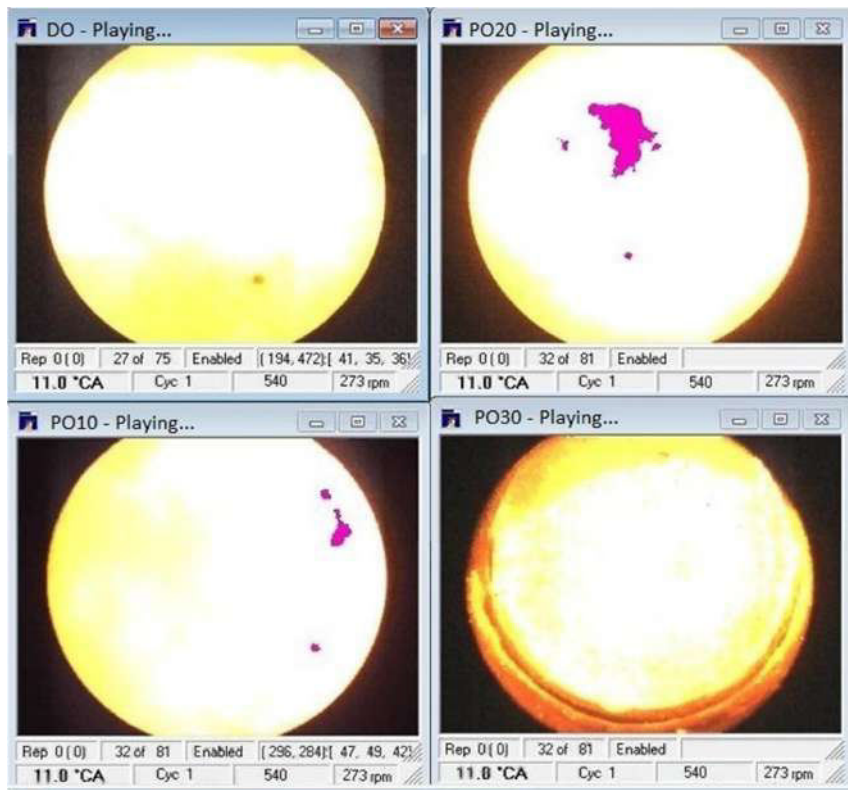
- Nếu so sánh giữa hình ảnh cháy của nhiên liệu PO20 tại 11⁰GQTK sau ĐCT (Hình 4.15) với hình ảnh mô phỏng phân bố nhiệt trong buồng đốt động cơ tại góc quay 370⁰GQTK ô No.8 (tức 10⁰GQTK sau ĐCT, Hình 3.21), cho thấy có sự tương đồng rất cao về màu sắc. Ở giai đoạn này, nhiên liệu PO20 cháy mãnh liệt và có tâm của ngọn lửa có nhiệt độ cao.

Còn ở thời điểm 22⁰GQTK (Hình 4.16), hầu như nhiên liệu đang ở thời kì cuối quá trình cháy (cháy tàn):

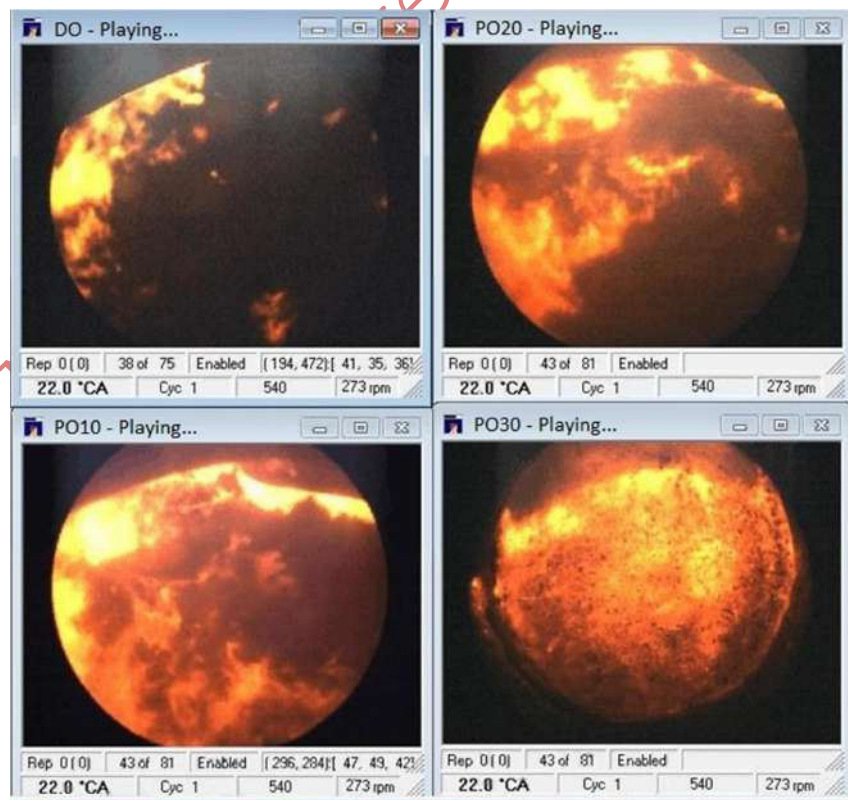
- Với nhiên liệu DO, màu cháy sáng chuyển sang màu cháy tối với nhiều khói, tuy nhiên nhiên liệu PO30 vẫn còn cháy tương đối mạnh (do nhiên liệu này có nhiều thành phần ô xy hơn).

- Cũng tương tự khi so sánh hình ảnh cháy của nhiên liệu PO20 tại thời điểm 22⁰GQTK sau ĐCT với hình ảnh mô phỏng tại thời điểm 382⁰GQTK ô No.12 ở Hình 3.22 (22⁰GQTK sau ĐCT) cũng cho thấy sự tương đồng đó là: ở cuối giai đoạn cháy mạnh, nhiệt độ đã giảm đáng kể.

Như vậy có thể thấy rằng, các kết quả nghiên cứu thực nghiệm và mô phỏng khi chọn nhiên liệu hỗn hợp PO20 cho thấy các kết quả thể hiện sự tương đồng nhau, phản ánh đúng qui luật cháy của nhiên liệu trong buồng đốt động cơ diesel.



Hình 4.15. Hình ảnh nhiên liệu cháy ở 11 độ QTK sau ĐCT, 273 v/p



Hình 4.16. Hình ảnh nhiên liệu cháy ở 22 độ QTK sau ĐCT, 273 v/p

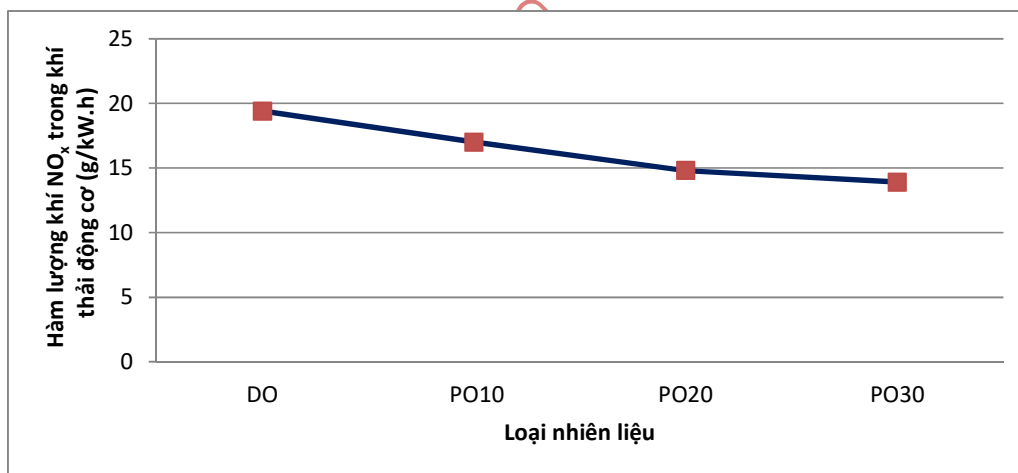
4.3.7. Phát thải NO_x

Tiêu chuẩn phát thải về NO_x của động cơ diesel tàu thủy áp dụng cho động cơ Hanshin 6LU32, với vòng quay định mức là 340v/p theo tiêu chuẩn IMO là: 14,19 (g/kW.h).

Trong khí thải động cơ có nhiều khí độc, nhưng NCS quan tâm đo đặc là khí NO_x và đánh giá hàm lượng khí độc hại NO_x trong khí thải của động cơ 6LU32 khi sử dụng nhiên liệu hỗn hợp so với sử dụng nhiên liệu diesel, nhằm đánh giá khả năng tuân thủ tiêu chuẩn phát thải khí độc hại NO_x , số liệu đo ở chế độ tải 600kW được phân tích bằng thiết bị trình bày trong mục 6 Phụ lục 1 và các số liệu về phát thải được thể hiện tại Bảng 4.9.

Bảng 4.9. Kết quả thực nghiệm về hàm lượng NO_x trong khí thải

Hàm lượng khí NO_x trong khí thải động cơ(g/kW.h)			
DO	PO10	PO20	PO30
19,4	17,0	14,8	13,9



Hình 4.17. Đồ thị biểu thị hàm lượng NO_x trong khí thải động cơ ở chế độ tải 600kW khi sử dụng 4 loại nhiên liệu

Kết quả thực nghiệm về nồng độ phát thải khí NO_x cho thấy: hàm lượng khí NO_x trong khí thải khi sử dụng nhiên liệu DO có giá trị bằng 19,4 g/kW.h. Như vậy hàm lượng phát thải này cao hơn so với hàm lượng phát thải khí NO_x khi sử dụng nhiên liệu hỗn hợp. Khi sử dụng nhiên liệu hỗn hợp PO30, hàm lượng khí NO_x trong khí thải động cơ 6LU32 đo được bằng 13,9 g/kW.h, thậm chí còn thấp hơn so

với tiêu chuẩn phát thải được qui định đối với loại động cơ này bởi Phụ lục VI, MARPOL 73/78; còn đối với PO20 là 14,8 g/kW.h; PO10 là 17,0 g/kW.h.

Qua nghiên cứu có thể đưa ra nhận định: việc sử dụng nhiên liệu hỗn hợp với thành phần dầu cò cao lên đến 30% sẽ cải thiện được nồng độ NO_x trong khí thải ra môi trường.

4.4. Kết quả giải pháp hiệu chỉnh bằng phương pháp quy hoạch thực nghiệm

4.4.1. Các bước thực hiện hiệu chỉnh trong phòng thí nghiệm

Sau đây là các bước thực hiện trong quá trình hiệu chỉnh:

- Thực hiện đánh giá ảnh hưởng của nhiên liệu hỗn hợp đến các thông số vận hành của động cơ diesel như: GPS, áp suất phun, nhiên liệu cháy bên trong xy lanh, khí thải và hiệu suất so với các thông số khi động cơ diesel này sử dụng nhiên liệu thông thường được nhà sản xuất động cơ khuyến cáo ở cùng một chế độ tải áp dụng cho một động cơ diesel cụ thể là Hanshin 6LU32;

- Dựa vào các kết quả thu được bằng tính toán và mô phỏng trong Chương 3, các kết quả nghiên cứu thực nghiệm ở phần 4.3 Chương 4 được phân tích để dự đoán các yếu tố chính và xu hướng tác động đến các thông số vận hành của động cơ diesel 6LU32;

- Trên cơ sở kết quả phân tích sử dụng lý thuyết tối ưu hóa bằng phương pháp qui hoạch thực nghiệm đã nêu ở phần 2.6 Chương 2 để thực hiện các giải pháp hiệu chỉnh thích hợp cho HTPNL cho động cơ nhằm đáp ứng các mục tiêu cần thiết. Trong đó công thức toán học được xây dựng dưới dạng một hàm mục tiêu (2.72) được ứng dụng.

- Thực nghiệm hiệu chỉnh đã được thực hiện trên động cơ diesel chính tàu thủy Hanshin 6LU32 được trang bị tại Trung tâm thí nghiệm hệ động lực - Trường Đại học Hàng hải Việt Nam có các thông số đã trình bày ở Bảng 3.1 theo các điều kiện thực nghiệm đã được trình bày trong phần 4.1 và 4.2 Chương 4 và các loại nhiên liệu PO10, PO20, PO30 có các tính chất được trình bày ở Bảng 1.5.

- Bước tiếp theo là áp dụng phương pháp qui hoạch thực nghiệm “Bề mặt đáp ứng” để tìm ra các thông số hiệu chỉnh tối ưu. Ở bước này, trước hết phải xây

dựng được bảng lấy mẫu thí nghiệm áp dụng loại các mẫu nhân tố từng phần (Fractional factorial designs) với các mức khác nhau. Để làm được điều này, các yếu tố ảnh hưởng đã được chọn đó là GPS (SOI), áp suất phun (p_{inj}) và tỉ lệ dầu thực vật %PO. Các yếu tố này sau đó sẽ lựa chọn để thực hiện thử nghiệm ở 3 mức khác nhau; mức trung tâm tương đương với giá trị thiết kế ban đầu, còn các giá trị xung quanh mức trung tâm sẽ được lựa chọn phụ thuộc vào từng loại yếu tố ảnh hưởng. Như vậy bảng lấy mẫu thí nghiệm như thể hiện trên Bảng 4.10.

Bảng 4.10. Bảng dự kiến về yếu tố gây ảnh hưởng và mức giá trị

Yếu tố ảnh hưởng	Ký hiệu	Mức		
		Thấp (-1)	Trung tâm (0)	Cao (1)
Thời điểm bắt đầu phun (0 CA GQTK)	A	9	11	13
Áp suất phun (MPa)	B	27	28	29
Tỉ lệ dầu cọ (%)	C	10	20	30

Trên cơ sở các dữ liệu tại Bảng 4.10, sẽ thành lập bảng ma trận những lần làm thí nghiệm để đo đặc lấy số liệu đầu ra bao gồm suất tiêu thụ nhiên liệu và phát thải khí NO_x rồi đánh giá theo mức chất lượng cao nhất.

4.4.2. Kết quả hiệu chỉnh đối với hệ thống nhiên liệu

Tiến hành thực nghiệm trên động cơ 6LU32: dựa trên số lần cần làm thực nghiệm và tiến hành đo đặc các thông số cần thiết như đề xuất tại Bảng 4.10, cho động cơ diesel làm việc ở chế độ 600kW (273 v/p) là chế độ cao nhất động cơ có thể làm việc trong PTN và đo mức độ phát thải cùng với suất tiêu thụ nhiên liệu. Ở đây cần lưu ý rằng, mỗi lần làm thí nghiệm sẽ được tiến hành với sự ghép của 3 yếu tố ảnh hưởng trên với mức giá trị khác nhau.

Trong quá trình hiệu chỉnh, công việc cần làm khá phức tạp và công phu đó là hiệu chỉnh cam nhiên liệu theo đúng yêu cầu với các vị trí để mở vòi phun ở các thời điểm 10^0 , 11^0 và 12^0 GQTK trước ĐCT. Bằng cách làm như vậy, toàn bộ số lần thực nghiệm và các dữ liệu cần thiết được thể hiện theo ma trận trên Bảng 4.11. Như vậy, cần thực hiện 9 lần thí nghiệm và hiệu chỉnh giá trị của các yếu tố ảnh hưởng.

Bảng 4.11. Tạo ma trận thí nghiệm

TT	x_1	x_2	x_3	y_1 (g/kW.h)	y_2 (g/kW.h)
1	1	1	1	223	15,3
2	-1	1	1	221	16,1
3	1	-1	1	222	15,2
4	1	-1	-1	221	15,7
5	1	1	-1	219	14,8
6	-1	1	-1	222	16,5
7	-1	-1	1	224	16,4
8	-1	-1	-1	222	16,8
9	0	0	0	221	16,1

Trên cơ sở Bảng 4.11 và các công thức (2.65, 2.68, 2.69) mô hình hồi quy ước tính suất tiêu thụ nhiên liệu g_e (y_1) và phát thải NO_x (y_2) được thiết lập như sau:

$$y_1 = 222.08 - 0.487x_1 + 0.587x_2 + 0.712x_3 \quad (4.1)$$

$$y_2 = 15.95 - 0.5x_1 - 0.075x_2 - 0.2x_3 \quad (4.2)$$

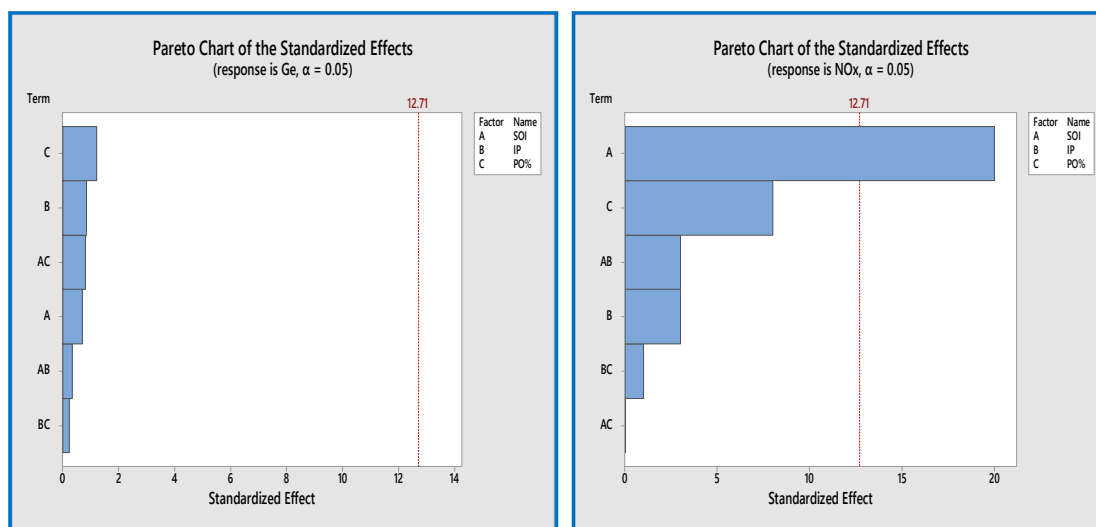
Các mô hình hồi quy ở trên rất hữu ích để phân tích biến nhân tố nào có ảnh hưởng đáng kể nhất đến mức tiêu thụ nhiên liệu và thành phần NO_x trong khí thải của động cơ diesel. Để làm như vậy, phần mềm ANOVA (trong máy tính của tủ bảng điều khiển trung tâm trình bày ở Phụ lục 1) được sử dụng để phân tích và đưa ra kết quả (Hình 4.18):

- Yếu tố tỉ lệ phần trăm dầu cọ (PO%) ảnh hưởng nhiều nhất đến suất tiêu thụ nhiên liệu (g_e), sau đó là các yếu tố áp suất phun và thời điểm bắt đầu phun (SOI);

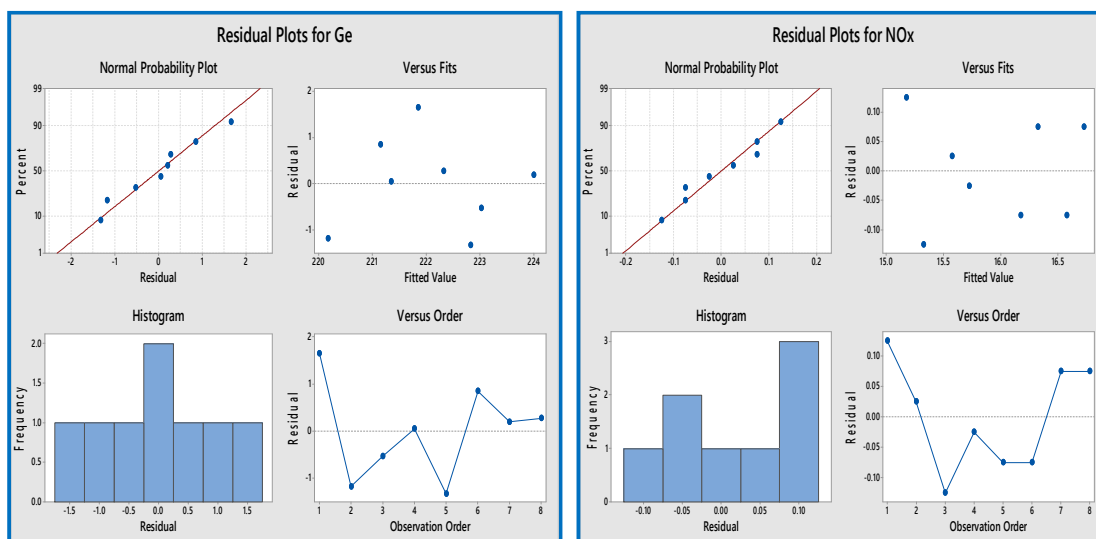
- Yếu tố thời điểm bắt đầu phun (SOI) có vai trò quan trọng nhất để thay đổi thành phần NO_x trong khí thải của động cơ diesel, sau đó là các yếu tố áp suất phun và yếu tố tỉ lệ phần trăm dầu cọ (PO%) đóng vai trò nhỏ nhất.

- Vì vậy, có thể thấy rằng tỉ lệ dầu cọ trong nhiên liệu hỗn hợp có ảnh hưởng lớn nhất đến mức tiêu thụ nhiên liệu, sau đó áp suất phun. Trong trường hợp ảnh hưởng về sự hình thành thành phần NO_x trong khí thải thì thời điểm bắt đầu phun là yếu tố chính, sau đó là tỉ lệ phần trăm dầu cọ.

- Để kiểm tra tính hợp lệ của các mô hình đã được nêu ở trên, phân tích dư cũng được tiến hành bằng cách sử dụng phần mềm thống kê Minitab 18 (trong máy tính của tủ bảng điều khiển trung tâm trình bày ở Phụ lục 1) và kết quả được trình bày trong Hình 4.19.



Hình 4.18. Biểu đồ Pareto đã chuẩn hóa ảnh hưởng của g_e , NO_x



Hình 4.19. Biểu đồ phân tích dư theo biến g_e và NO_x

- Dựa trên những phân tích này, sau đó biến nhân tố có thể được điều chỉnh theo trạng thái phù hợp với quy tắc của các yếu tố phân số và phương pháp tối ưu hóa gốc từng bước. Bởi vì, việc sử dụng các yếu tố phân đoạn là một kỹ thuật hiệu quả nhất để giảm thiểu số lượng yếu tố quan sát và vẫn đạt được mục tiêu mong muốn. Lựa chọn bước di chuyển cho các yếu tố kiểm soát dựa trên các yếu tố kiểm soát cơ bản và phương trình hồi quy, có thể tính bước di chuyển và kết quả được thể hiện trong Bảng 4.12.

Bảng 4.12. Các yếu tố kiểm soát cho phép tính phân đoạn

Các cấp độ	Các yếu tố kiểm soát		
	x_1 SOI ($^{\circ}$ CA ĐCT)	x_2 IP (MPa)	x_3 (% PO)
Điểm trung tâm	11	28	20
Bước thay đổi (Δ_i)	$\pm 1,0$	$\pm 0,5$	± 10
Hệ số b_i	-0,48 & -0,5	0,58 & 0,075	0,712 & -0,2
$b_i \Delta_i$	-1,25	0,58	3,56
Bước di chuyển	-0,877	0,407	2,5

Sau đó, thí nghiệm đã được thực hiện bằng cách sử dụng các bước thay đổi được đề cập trong Bảng 4.12 và hàm mục tiêu theo công thức (2.72) đã được sử dụng để đánh giá mức độ tối ưu hóa thông qua các mức độ chất lượng từ cao xuống thấp. Các kết quả thí nghiệm được trình bày trong Bảng 4.13.

Bảng 4.13. Kết quả nghiên cứu tối ưu hóa

TT	x_1 SOI [$^{\circ}$ CA ĐCT]	x_2 IP [MPa]	x_3 PO [%]	y_1 g_e [g/kW.h]	y_2 NO _x [g/kW.h]	Mức chất lượng
Điểm trung tâm (1)	11	28	20	223	15,3	472,63
(2)	11	28,5	10	221	16,1	427,42
(3)	11	29	30	222	15,2	431,24
(4)	12	29,5	10	221	15,7	469,86
(5)	10	29,5	20	219	14,8	492,58
(6)	12	30	20	222	16,5	483,48
(7)	12	30	20	224	16,4	429,75
(8)	10	29	30	222	15,8	456,32
(9)	10	28	30	221	15,1	467,95

Giới hạn NO_x theo yêu cầu của Tổ chức Hàng hải Quốc tế được trình bày tại phụ lục VI của Công ước quốc tế MARPOL 73/78, vì vậy động cơ diesel chính tàu thủy Hanshin 6LU32 có mức phát thải NO_x = 19,4g/kW.h (ở chế độ thử nghiệm có thể trong PTN ứng với tải 600kW, 273 v/p) cần hướng tới mức phát thải giới hạn mục tiêu NO_{x,g} = 14,19g/kW.h.

Thông qua các kết quả của hàm tối ưu, có thể xác nhận rằng sự kết hợp (SOI = 10 $^{\circ}$ CA, IP = 29,5MPa, tỉ lệ = 20% PO) là các giá trị điều chỉnh HTPNL phục vụ cho động cơ hoạt động hiệu quả cao đạt các chỉ tiêu là g_e = 219g/kW.h, mức phát thải NO_x = 14,8g/kW.h. Điều này cũng có nghĩa là quá trình tối ưu hóa

theo phương pháp bề mặt đáp ứng đã tìm thấy các yếu tố kiểm soát tối ưu cho động cơ diesel 6LU32 là $GPS = 10^0 GQTK$, áp suất nâng kim phun = 29,5MPa, nhiên liệu hỗn hợp với dầu diesel có tỉ lệ dầu cò là 20% PO có thể được chọn để đặt các thông số làm việc tối ưu cho động cơ diesel tàu thủy 6LU32 sử dụng nhiên liệu hỗn hợp cho thay thế nhiên liệu thông thường.

4.5. Kết luận chương 4

- Từ cơ sở các kết quả nghiên cứu lý thuyết ở Chương 2 và tính toán lý thuyết, mô phỏng ở Chương 3, Chương 4 đã triển khai nghiên cứu thực nghiệm xác định các thông số quan trọng đánh giá chất lượng phun của nhiên liệu DO và các hỗn hợp PO10, PO20, PO30 ở hai chế độ tải 40% (238 v/p) và 60% (273 v/p) trên động cơ diesel chính tàu thủy lai phanh thủy lực Hanshin 6LU32 trong PTN.

- Các kết quả nghiên cứu thực nghiệm đã cho các kết quả thử nghiệm rất phong phú, xác thực được tổng hợp và phân tích trong mục 4.3 đã cho thấy rõ hơn về sự ảnh hưởng này như sau: áp suất cháy cháy cực đại của PO nhỏ hơn DO (PO20 nhỏ hơn khoảng 3,5% ở tốc độ 273 v/p); thời điểm phun của PO sớm hơn DO (PO20 sớm hơn khoảng 0,7 độ ở tốc độ 273 v/p), áp suất phun lớn nhất của PO lớn hơn DO (PO20 lớn hơn khoảng 5,5% ở tốc độ 273 v/p); thời gian cháy trễ PO nhỏ hơn của DO (PO20 nhỏ hơn khoảng 0,0675 độ ở tốc độ 273 v/p); suất tiêu hao nhiên liệu (PO20 tăng khoảng 5,3% ở tốc độ 273 v/p); lưu lượng phun của PO20 tăng khoảng 0,946% so với DO; chất lượng phun sương và hòa trộn - cháy được camera VisioScope chụp hình và quay phim lại cho thấy PO20 vẫn đảm bảo tuy có kém hơn DO; phát thải NO_x của PO20 giảm khoảng 23% so với DO.

- Xây dựng được giải pháp hiệu chỉnh thích hợp là một phương pháp tổng hợp các biện pháp hiệu chỉnh các thông số của hệ thống nhiên liệu để đạt được hiệu quả kinh tế cũng như tiêu chuẩn về môi trường bằng công thức toán học dưới dạng một hàm mục tiêu (2.72) và thực hiện thực nghiệm kiểm chứng trực tiếp đối với động cơ diesel Hanshin 6LU32. Kết quả xác định được các thông số điều chỉnh các yếu tố kiểm soát tối ưu cho động cơ diesel 6LU32 là $GPS = 10^0 GQTK$ trước ĐCT, áp suất nâng kim phun = 29,5MPa, nhiên liệu hỗn hợp với dầu diesel có tỉ lệ dầu cò là 20%PO có thể được chọn để đặt các thông số làm việc tối ưu cho động cơ diesel tàu thủy 6LU32 sử dụng nhiên liệu hỗn hợp cho thay thế nhiên liệu truyền thống đạt chỉ tiêu kinh tế $g_e=219$ g/kW.h và chỉ tiêu môi trường $NO_x=14,8$ g/kW.h.

- Nội dung Chương 4 đã hoàn thành các mục tiêu đề ra trong Bảng 1.6 Chương 1.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Kết luận:

Sau thời gian làm việc nghiêm túc, bằng phương pháp nghiên cứu tổng hợp giữa nghiên cứu lý thuyết, áp dụng mô phỏng số và nghiên cứu thực nghiệm, NCS đã thực hiện hoàn chỉnh mục tiêu, yêu cầu của đề tài luận án ***“Nghiên cứu ảnh hưởng của hỗn hợp nhiên liệu dầu thực vật – diesel đến phun nhiên liệu, tạo hỗn hợp, cháy và tính năng của động cơ diesel tàu thủy”*** và sau đây là những kết luận:

1. Đã phân tích các kết quả nghiên cứu trong và ngoài nước liên quan đến luận án, trên cơ sở đó đã tổng hợp và lựa chọn được cơ sở lý thuyết thích hợp để phục vụ nghiên cứu ảnh hưởng của đặc tính hỗn hợp nhiên liệu dầu cọ - dầu diesel đến chất lượng phun nhiên liệu và các chỉ tiêu kinh tế (g_e), môi trường (NO_x) của động cơ diesel tàu thủy; đề xuất giải pháp để áp dụng giải pháp hiệu chỉnh thích hợp các thông số chính của HTPNL và tỉ lệ % dầu cọ trong hỗn hợp để động cơ hoạt động ổn định đạt chỉ tiêu kinh tế và môi trường;

2. Đã đánh giá được sự ảnh hưởng của đặc tính nhiên liệu hỗn hợp đến chất lượng phun nhiên liệu của HTPNL cho động cơ diesel tàu thủy Hanshin 6LU32 sử dụng hỗn hợp nhiên liệu dầu cọ - diesel PO10, PO20, PO30 và DO. Các kết quả cho thấy: hỗn hợp nhiên liệu dầu cọ - diesel làm thay đổi đặc tính vĩ mô và vi mô của tia phun nhiên liệu của vòi phun; dẫn đến thay đổi quá trình phun, hòa trộn - cháy của hỗn hợp nhiên liệu-không khí trong buồng đốt động cơ diesel tàu thủy; làm cho thời điểm phun sớm hơn so với nhiên liệu DO; giảm thời gian cháy trễ và thời điểm bốc cháy nhiên liệu cũng sớm hơn so với DO;

3. Xây dựng được mô hình mô phỏng số cho kết quả về các trường vận tốc, trường áp suất, trường phân phối năng lượng động năng rồi được phân phối trong không gian chứa nhiên liệu ở đầu vòi phun, ở tại cửa vào và cửa ra của lỗ phun làm cơ sở khoa học quan trọng đánh giá chất lượng phun nhiên liệu. Kết quả mô phỏng quá trình hòa trộn - cháy của PO20 trong buồng đốt động cơ diesel 6LU32 cho các thông số khả quan đã minh chứng cho kết quả thực nghiệm;

4. Tổ chức thực nghiệm trên động cơ 6LU32 ở 2 chế độ tải 40% (238 v/p) và 60% (273 v/p), xác định được các thông số: áp suất cháy; thời điểm phun, áp suất phun lớn nhất; thời gian cháy trễ; suất tiêu hao nhiên liệu; lưu lượng phun; chất lượng phun sương và hòa trộn - cháy; phát thải NO_x và các thông số công tác khác của động cơ nhằm so sánh, đánh giá chất lượng phun nhiên liệu của từng loại nhiên liệu nghiên cứu;

5. Từ các kết quả nghiên cứu kết hợp giữa lý thuyết bằng việc sử dụng các công thức toán học, xây dựng mô hình mô phỏng số và nghiên cứu thực nghiệm tại phòng thí nghiệm đã đề xuất được giải pháp hiệu chỉnh thích hợp HTPNL động cơ diesel 6LU32 khi sử dụng nhiên liệu hỗn hợp một cách hiệu quả và thân thiện hơn với môi trường. Đây là những biện pháp nghiên cứu hiện đại được ứng dụng vào khai thác vận hành hệ động lực tàu thủy phù hợp với chuyên ngành khai thác bảo trì tàu thủy mã số 9520116. Kết quả sau khi thực nghiệm hiệu chỉnh:

- Xác định được 3 thông số điều chỉnh để kiểm soát tối ưu cho động cơ diesel Hanshin 6LU32 hoạt động ổn định là $GPS = 10^0 GQTK$ (giảm đi 1^0), áp suất nâng kim phun = 29,5MPa (tăng lên 1,5MPa), nhiên liệu hỗn hợp với dầu diesel có tỉ lệ dầu cò là 20% PO;

- Động cơ diesel làm việc đạt được hai mục tiêu là suất tiêu thụ nhiên liệu hợp lý ($g_c=219g/kW.h$) và tiệm cận với tiêu chuẩn phát thải về NO_x ($=14.8 g/kW.h$) của IMO. Tuy nhiên đây là chế độ thử nghiệm cao nhất có thể trong PTN đối với một động cơ diesel chính tàu thủy cỡ vừa.

6. Các kết quả nghiên cứu được tổng hợp trên đây có thể khẳng định rằng: hoàn toàn có thể sử dụng nhiên liệu hỗn hợp dầu thực vật - diesel làm nhiên liệu thay thế trên các tàu thuộc đội vận tải biển Việt Nam đáp ứng tiêu chuẩn phát thải Quốc tế. Hơn nữa, đây cũng là những kết quả khoa học lần đầu tiên được nghiên cứu thành công ở Việt Nam hưởng ứng đề án “Sử dụng tiết kiệm nhiên liệu và bảo vệ môi trường” của Chính phủ đề ra.

Kiến nghị:

Đây mới chỉ là những thành công bước đầu, luận án còn những hạn chế sau đây cần tiếp tục nghiên cứu trong thời gian tới:

1. Mở rộng nghiên cứu đến BCA, hệ thống cam nhiên liệu để nghiên cứu ảnh hưởng của QLCCNL đến quá trình phun, hình thành hỗn hợp cháy, cháy và phát thải của động cơ diesel tàu thủy khi chuyển sang sử dụng hỗn hợp nhiên liệu dầu cò-dầu diesel;

2. Đánh giá độ ổn định của HTPNL động cơ diesel tàu thủy khi chuyển sang sử dụng hỗn hợp nhiên liệu dầu cò-dầu diesel như vấn đề bôi trơn, mài mòn, ăn mòn và ô xy hóa các chi tiết trong hệ thống;

3. Mở rộng đối tượng nghiên cứu, đó là loại động cơ diesel tàu thủy hiện đại với HTPNL common rail được điều khiển bằng bộ điều khiển điện tử ECU.

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ CỦA TÁC GIẢ LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN

- [1] **ThS. Nguyễn Đức Hạnh**, PGS. TSKH. Đặng Văn Uy, PGS. TS. Nguyễn Đại An (tháng 11/2013). *Nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của hỗn hợp dầu thực vật – dầu diesel đến áp suất phun nhiên liệu của động cơ diesel Hanshin 6LU32*. Tạp chí Khoa học–Công nghệ Hàng hải số 36. ISSN1859-316X.
- [2] **ThS. Nguyễn Đức Hạnh**, PGS. TSKH. Đặng Văn Uy, PGS. TS. Nguyễn Đại An (tháng 10/2014). *Nghiên cứu ảnh hưởng của hỗn hợp dầu thực vật – dầu diesel đến lưu lượng phun nhiên liệu vào động cơ diesel Hanshin 6LU32*. Tạp chí Cơ khí Việt Nam, số đặc biệt. ISSN 0866-7056.
- [3] **ThS. Nguyễn Đức Hạnh**, PGS. TSKH. Đặng Văn Uy, PGS. TS. Nguyễn Đại An, (tháng 4/2015). *Nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của hỗn hợp dầu thực vật – dầu diesel đến trạng thái kỹ thuật của bơm cao áp và vòi phun động cơ diesel Hanshin 6LU32*. Tạp chí Khoa học – Công nghệ Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội số 27. ISSN 1859-3585.
- [4] **MSc. Nguyen Duc Hanh**, Prof., Dr. Nguyen Dai An, Prof., Dr. Dang Van Uy (July/2017). *A study on the applicability of biofuel for the small marine diesel engines in Vietnam conditions*. Tạp chí Khoa học–Công nghệ Xây dựng số 4. ISSN1859-2996.
- [5] Prof., DSc. Dang Van Uy, Prof., Dr. Nguyen Dai An, **MSc. Nguyen Duc Hanh** (Oct.17-19/2018, Barcelona, Spain). *An optimization of marine diesel engine operation parameters when using a mixed fuel (DO and palm oil) as alternative fuel*. IAMU 2018, 19th Annual General Assembly – AGA, of the International Association of Maritime Universities (IAMU).
- [6] **ThS. Nguyễn Đức Hạnh**, PGS. TSKH. Đặng Văn Uy, PGS. TS. Nguyễn Đại An. *Ứng dụng CFD tính toán mô phỏng số quá trình hòa trộn - cháy trong động cơ diesel thủy khi sử dụng nhiên liệu hỗn hợp (dầu DO - dầu cọ) làm nhiên liệu thay thế*. Tạp chí KHKT Thủy lợi và Môi trường số đặc biệt tháng 10 năm 2019. ISSN1859-3941.
- [7] **MSc. Nguyen Duc Hanh**, Prof., Dr Nguyen Dai An, Prof., Dr. Dang Van Uy. *Simulation of fluid dynamics through nozzles into marine diesel engine combustion chamber using the mixture fuel oil (diesel oil and palm oil) as an alternative one by Fluent-Ansys software*. 30th International Symposium on Transport Phenomena, Vinpearl Halong Bay Resort | 1-3 November 2019.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng Việt

1. Chính phủ (2007), *Quyết định 177/2007/QĐ-TTg: Đề án phát triển nhiên liệu sinh học đến năm 2015, tầm nhìn đến năm 2025*.
2. Chính phủ (2012), *Quyết định số 53/2012/QĐ-TTg: Lộ trình áp dụng tỷ lệ phối trộn nhiên liệu sinh học với nhiên liệu truyền thống*.
3. Chính phủ (2012), *Quyết định số 1427/QĐ-TTg: Chương trình mục tiêu quốc gia về sử dụng năng lượng tiết kiệm và hiệu quả giai đoạn 2012-2015*.
4. Quốc hội Việt Nam (2010), *Luật số: 50/2010/QH12 về sử dụng năng lượng tiết kiệm và hiệu quả*.
5. Bộ Khoa học và Công nghệ (2001), *TCVN 2625:2007, ISO 5555:2001, Dầu mỡ động vật và thực vật - lấy mẫu*.
6. Tổ chức Hàng hải Quốc tế (2005), *Công ước Quốc tế MARPOL 73/78*.
7. Cục Hàng hải Việt Nam (2019), *Tổng hợp số liệu phương tiện giao thông thủy trong cả nước tính đến 30/6/2019*, Hà Nội.
8. Nguyễn Văn Dự, Nguyễn Đăng Bình (2011), *Quy hoạch thực nghiệm trong kỹ thuật*, Nhà xuất bản khoa học kỹ thuật.
9. Bùi Văn Ga (2002), *Quá trình cháy trong động cơ đốt trong*, NXB Khoa học kỹ thuật, Hà Nội.
10. Vũ Thị Thu Hà (2009), *Đề tài NCKH cấp Nhà nước - Đánh giá hiện trạng công nghệ sản xuất và thử nghiệm hiện trường nhiên liệu sinh học biodiesel từ mỡ cá nhằm góp phần xây dựng tiêu chuẩn Việt Nam về biodiesel*, Viện Hóa học Công nghiệp Việt Nam.
11. Phùng Minh Lộc (2012), *Nghiên cứu tỷ lệ pha trộn hợp lý giữa dầu dừa và dầu diesel dùng làm nhiên liệu cho động cơ diesel nhằm cải thiện các chỉ tiêu kinh tế và môi trường*, Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Đại học Nha Trang, Khánh Hòa.
12. Lê Việt Lương (2000), *Lý thuyết động cơ diesel*, NXB Giáo dục, Hà Nội.
13. Nguyễn Đức Minh (1996), *Nghiên cứu khả năng thay thế nhiên liệu diesel bằng nhiên liệu mới được tạo ra từ dầu thực vật*, Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Đại học GTVT, Hà Nội.
14. Nguyễn Trí Minh (2010), *Động cơ diesel tàu thủy*, NXB Hàng hải, Hải Phòng.
15. Trần Thế Nam (2016), *Nghiên cứu giải pháp công nghệ chế tạo thiết bị chuyển đổi động cơ diesel tàu thủy cỡ vừa và nhỏ sang sử dụng nhiên liệu sinh học*, Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Đại học Hàng hải Việt Nam, Hải Phòng.
16. Mai Đức Nghĩa (2017), *Ảnh hưởng của thông số phun hỗn hợp nhiên liệu dầu diesel – dầu dừa đến các chỉ tiêu kinh tế và môi trường của động cơ diesel cao tốc*, Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Đại học Nha Trang, Khánh Hòa.

17. Phan Văn Quân (2015), *Ứng dụng thí điểm dầu mỡ cá da trơn cho phương tiện thủy nội địa lắp động cơ diesel ở đồng bằng sông Mê Kông, báo cáo tổng kết dự án thuộc chương trình mục tiêu quốc gia ứng phó với biến đổi khí hậu*, thuộc Chương trình mục tiêu Quốc gia ứng phó với biến đổi khí hậu. Trường Đại học Giao thông Vận tải TP. Hồ Chí Minh, TP. Hồ Chí Minh.
18. Nguyễn Thạch (2011), *Nghiên cứu thiết kế, chế tạo cụm thiết bị chuyển đổi sử dụng trực tiếp dầu thực vật (Straight Vegetable Oil –SVO) làm nhiên liệu cho động cơ diesel*, Đề tài độc lập cấp Nhà nước, Trường Đại học Công nghiệp TP. Hồ Chí Minh, TP. Hồ Chí Minh.
19. Nguyễn Tất Tiến (2000), *Nguyên lý động cơ đốt trong*, NXB Giáo dục, Hà Nội.
20. Đặng Văn Uy (2014), *Nghiên cứu giải pháp công nghệ và chế tạo thử nghiệm hệ thống thiết bị chuyển đổi động cơ diesel tàu thủy cỡ vừa và nhỏ sang sử dụng hỗn hợp dầu thực vật-dầu diesel, mã số ĐT.04.11/NLSH (thuộc Đề án phát triển nhiên liệu sinh học đến năm 2015, tầm nhìn đến năm 2025)*, Đại học Hàng hải Việt Nam, Hải Phòng.
21. Nguyễn Hoàng Vũ (2014), *Đề tài KHCN và PTCN cấp Nhà nước, Nghiên cứu sử dụng nhiên liệu diesel sinh học (B10 và B20) cho phương tiện cơ giới quân sự, Mã số ĐT.06.12/NLSH, thuộc Đề án phát triển nhiên liệu sinh học đến năm 2015, tầm nhìn đến năm 2025*, Học viện kỹ thuật quân sự, Hà Nội.

Tiếng Anh

22. ANSYS (2013), *ANSYS Mechanical APDL Introductory Tutorials*, USA.
23. Appendix 17 – EL-79, Technical Report CRC Project No. AVFL-2a, Impact of Biodiesel on Fuel, System Component Durability (2005), *Diesel Injector Nozzle Wear Test*, National Renewable Energy Laboratory U.S. Department of Energy.
24. Arya Piroos (2014), *Effects of Injector Nozzle Geometry on Spray Characteristics, An Analysis*, University of Birmingham, Amirkabir University of Technology.
25. ASTM International (2003), *ASTM D7467: Standard Specification for Biodiesel Blend (B6 to B20)*.
26. Ayhan Demirbas (2008), *Biodiesel-A Realistic Fuel Alternative for Diesel Engine*, Springer.
27. Azwan Sapit, Sho Nagayasu, Yasunori Tsuboi, Yuzuru Nada, Yoshiyuki Kidoguchi (2011), *A Study on Improvement of Diesel Spray Characteristics Fueled by Rape-seed Oil*, SAE Technical Papers, Vol-32-0561, pp: 11, ISSN: 1946-3952, e-ISSN: 1946-3960, The University of Tokushima.
28. B.Rajendra Prasath, P.Tamilporai, Mohd.F.Shabir (2010), *Theoretical Modeling and Experimental Study of Combustion and Performance Characteristics of Biodiesel in Turbocharged Low Heat Rejection D.I Diesel Engine*, Vol:4, No:1. World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Mechanical and Mechatronics

- Engineering.
29. Bernard Challen, Rodica Baranescu (1999), *Diesel Engine Reference Book*, Butterworth-Heinemann, Oxford OX2 8DP.
 30. Besson (2000), *Experimental analysis of combustng flows developing over a plane symmetric expansion*. Journal of Thermophysics and Heat Transfer. Vol. 14, Page 59.
 31. Breda Kegl, Marko Kegl, Stanislav Pehan (2008), *Optimization of a Fuel Injection System for Diesel and Biodiesel Usage*, Energy & Fuels.
 32. C.Venkataaramana Reddy, B.K.Venkanna, Swati B. Wadawadagi (2010), *Effect Of Injection Pressure on Performance, Emission and Combustion Characteristics of Direct Injection Diesel Engine Running on Blends of Pongamia Pinnata Linn Oil (Honge Oil) and Diesel Fuel*, Vol. 10 Issue 2, June.
 33. Centre d'Instruction de Vilgenis (1996), *Formation Turbo Réacteur*, Air France.
 34. Dang Van Uy (2015), *A Study on Conversion of Marine Diesel Engines Using Blended Palm Oil for Inland Waterway Vessels in Vietnam*. Journal of Shipping and Ocean Engineering (USA). Vol. 05.
 35. Daniela Siano (1972), *Fuel Injection*, ISBN 978-953-307-116-9, Janeza Trdine 9, 51000 Rijeka, Croatia.
 36. EPA (2002), *A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions*, Technical Report, United States Environmental Protection Agency.
 37. F. Dos Santos, L.Le Moyné (2011), *Spray Automation Models in Engine Applications, from Correlations to Direct Numerical Simulations*. Vol. 66. Oil & Gas Science and Technology-Rev.IFP Energies Nouvelles.
 38. Fox, Tony (2003), *Essex Arch & Hist Soc*, Essex Journal, Page 12–16.
 39. Gerhard Knothe, Jon Van Gerpen, Jurgen Krahel (2005), *The biodiesel Handbook*, Academic Press and AOCS Press.
 40. Herchel Thaddeus C. Machacon, Yutaka Matsumoto, Chihiro Ohkawara, Seiichi Shiga, Takao Karasawa, Hisao Nakamura (2001), *The Effect of Coconut Oil and Diesel Fuel Blends on Diesel Engine Performance and Exhaust Emissions*, ELSEVIER JSAE Review Volume 22, Issue 3, July.
 41. Hiro Hiroyasu, Masataka Arai (1990), *The Structure of Fuel Sprays and the Combustion Processes in Diesel Engines*, American Society of Mechanical Engineers, Internal Combustion Engine Division. SAE Transactions, Vol. 99, Section 3: JOURNAL OF ENGINES, Part 1 (1990), pp. 1050-1061.
 42. Hiroyuki Hiroyasu, Toshikazu Kadota, Masataka Arai (1983), *Development and Use of a Spray Combustion Modeling to Predict Diesel Engine Efficiency and Pollutant Emissions*, Paper 214-12, Bull.JSME, Vol.26, No.214, 1983, pp.576-583.

43. John B.L Heywood (1988), *Internal Combustion Engine Fundamentals*, ISBN-13: 978-0070286375, ISBN-10: 007028637X, by McGraw-Hill Education.
44. K. Kannan and M. Udayakumar (2010), *Experimental Study of the Effect of Fuel Injection Pressure on Diesel Engine Performance and Emission*, VOL. 5, NO. 5, MAY 2010 ISSN 1819-6608, Journal of Engineering and Applied Sciences, Asian Research Publishing Network Journal of Engineering and Applied Sciences.
45. K. S. Varde, D. M. Popa, L. K. Varde (1984), *Spray angle and atomization in diesel sprays*, Vol. 93, Section 4: 840772—841109, pp. 779-787, SAE International.
46. Kamran Poorghasemi, Fathollah Ommi (2012), *An Investigation on Effect of High Pressure Post Injection on Soot and NO Emissions in a DI Diesel Engine*, Journal of Mechanical Science and Technology 26(1), 269~281.
47. M. Ghiji, L. Goldworthy, V. Garaniya, P.A. Brandner, P. Hield (2014), *CFD Modelling of Primary Atomisation of Diesel Spray*. 19th Australia Fluid Mechanics Conference, Melbourne, Australia.
48. M.A Kalam, MHusnawan, H.HMasjuki (2003), *Exhaust Emission and Combustion Evaluation of Coconut Oil-Powered Indirect Injection Diesel Engine*. *Renewable Energy*, Volume 28, Issue 15, December 2003, Pages 2405-2415.
49. M.A.Fazal, A.S.M.A.Haseeb, H.H.Masjuki (2011), *Biodiesel feasibility study: An evaluation of material compatibility, performance, emission and engine durability*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15 (2011) 1314-1324.
50. M.E.Tat, J.H. Van Gerpen (2003), *Measurement of Biodiesel Speed of Sound and Its Impact on Injection Timing*, Iowa USA, Department of Mechanical Engineering Iowa State University Ames.
51. Michael Eckert (2006), *The Dawn of Fluid Dynamics: A Discipline Between Science and Technology*, Wiley. pp. ix. ISBN 3-527-40513-5.
52. Nguyen P.K (2004), *Turbulent reacting flow in a dump combustor: some specific aspects related to the boundary conditions*. 7th Asia-Pacific International Symposium on Combustion and Energy Utilization (APISCEU) - Hong Kong.
53. P.A.Lakshminarayanan, Yogesh V. Aghav (2010), *Modelling Diesel Combustion*, Mechanical Engineering Series, Springer Science + Business Media B.V.
54. Purushothamana K, Nagarajana G (2009), *Effect of Injection Pressure on Heat Release Rate And Emissions in CI Engine Using Orange Skin Powder Diesel Solution*, Department of Mechanical Engineering, St. Peter's Engineering College, Chennai, INDE.
55. Roland BORGHI (2000), *Michel DESTRIAUX avec la collaboration de*

Gérald DE SOETE, La Combustion et Les Flammes.

56. Rolf D. Reitz (1996), *Spray Technology Short Course*, Mechanical Engineering Department, University of Wisconsin.
57. S Bari, C W Yu, T H Lim (2004), *Effect of Fuel Injection Timing With Waste Cooking Oil As a Fuel in a Direct Injection Diesel Engine*, Proceedings of The Institution Of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering. Vol. 218, No 1.
58. S. Naga Sarada, M. Shailaja, A.V. Sita Rama Raju, K. Kalyani Radha (2010), *Optimization of Injection Pressure for a Compression Ignition Engine with Cotton Seed oil As an Alternate Fuel*, International Journal of Engineering, Science and Technology, Vol. 2, No. 6, pp. 142-149.
59. Saiful Bari (2013), *Diesel Engine - Combustion, Emissions and Condition Monitoring*, ISBN 978-953-51-1120-7, Publisher: Intech, Chapters Published April 30, 2013 under CC BY 3.0 license DOI: 10.5772/2782.
60. Shailesh Martin Lopes, Robert Furey, Pat Geng (2013), *Calculation of Heating Value for Diesel Fuels Containing Biodiesel*. SAE, 10. 4271/2013-01-1139 SAE International Journal of Fuels and Lubricants.
61. Siddalingappa R. Hotti, Omprakash Hebbal (2011), *Performance and Combustion Characteristics of Single Cylinder Diesel Engine Running on Karanja Oil-Diesel Fuel Blends*, Engineering, Vol. 3 No. 4, Article ID: 4597, PDA College of Engineering, Gulbarga, India.
62. Simón Martínez-Martínez, Fausto A. Sánchez-Cruz, Vicente R. Bermúdez, José M. Riesco-Ávila (2010), *Liquid Sprays Characteristics in Diesel Engines*, Fuel Injection Journal, Mexico.
63. USV Prasad, K. Madhu Murthy, G. Amba Prasad Rao (2012), *Influence of Fuel Injection Parameters of DI Diesel Engine Fuelled With Biodiesel and Diesel Blends*, pp. 261, International Conference on Mechanical Automobile and Robotics Engineering (ICMAR) Penang, Malaysia.
64. Vimal Kumar Pathak, Sumit Gupta (2015), *Study of Nozzle Injector Performance Using CFD*. 10.14810/ijmech.2015.4312 International Journal of Recent advances in Mechanical Engineering, Vol.4, No.3, Department of Mechanical Engineering, MNIT, Jaipur.

Các Website

65. <http://www4.hcmut.edu.vn/~huynhqlinh/project/CoNhietDC/chuong8.htm>.
66. <http://www.journeytoforever.org/index.html>.
67. <https://www.ansys.com/products/fluids/ansys-fluent>.
68. <http://www.afdc.energy.gov>.
69. <http://www.hagl.com.vn/>.
70. <http://www.sengpielaudio.com/calculator-speedsound.htm>.
71. <http://www.yanmar.eu>.

DANH MỤC CÁC PHỤ LỤC

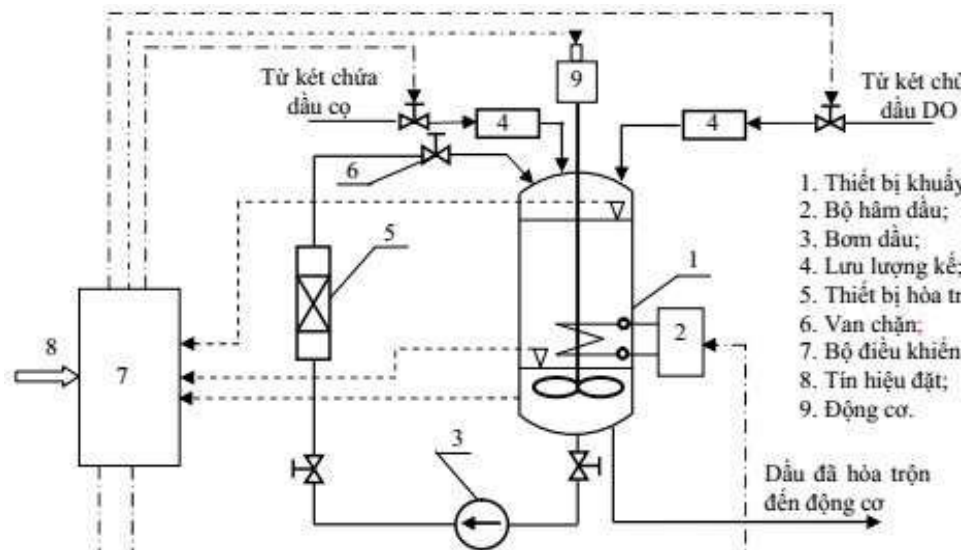
Ký hiệu	Tên phụ lục	Trang
PL 1	Các thiết bị đo, băng thử phục vụ thử nghiệm	1/PL1
PL 2	Bảng thông số áp suất trong xy lanh số 1 động cơ 6LU32 theo góc quay trục khuỷu khi chạy nhiên liệu DO, PO10, PO20, PO30 ở mức tải 400kW	10/PL2
PL 3	Bảng thông số áp suất trong xy lanh số 1 động cơ 6LU32 theo góc quay trục khuỷu khi chạy nhiên liệu DO, PO10, PO20, PO30 ở mức tải 600kW	16/PL3
PL 4	Áp suất phun nhiên liệu	22/PL4
PL 5	Các mô hình cháy trong mô phỏng số	24/PL5
PL 6	Qui hoạch thực nghiệm trong kỹ thuật	33/PL6
PL 7	Các hình ảnh thực hiện mô phỏng bằng phần mềm Ansys Fluent trên máy tính chủ	38/PL7
PL 8	Các hình ảnh thực nghiệm với động cơ diesel Hanshin 6LU32 tại phòng thí nghiệm hệ động lực - ĐHHHVN	41/PL8
PL 9	Giấy xác nhận của chủ nhiệm/tác giả đề tài/luan án cho phép NCS sử dụng kết quả bài báo/công trình NCKH vào nội dung luận án tiến sĩ	45/PL9
PL 10	Quyết định thành lập Hội đồng nghiệm thu đề tài NCKH cấp trường	48/PL10
PL 11	Kết quả kiểm tra chống sao chép Turnitin	50/PL11

PHỤ LỤC 1

CÁC THIẾT BỊ ĐO, BẰNG THỬ PHỤC VỤ THỬ NGHIỆM

1. Thiết bị hòa trộn liên tục tạo hỗn hợp dầu thực vật - dầu diesel

Sơ đồ nguyên lý được thể hiện trên hình 1:



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý cấu tạo hệ thống hòa trộn liên tục

Thiết bị hòa trộn liên tục hỗn hợp dầu cọ - dầu diesel gồm hai phần:

- Phần thiết bị cơ khí: là thiết bị hòa trộn chất lỏng kiểu cánh khuấy được thiết kế làm việc liên tục, nghĩa là hỗn hợp nhiên liệu sau khi trộn liên tục được cấp vào động cơ với chất lượng hòa trộn đạt tiêu chuẩn đề ra và luôn giữ ổn định.

- Hệ thống tự động điều khiển với các chức năng: tự động duy trì nhiệt độ hâm hợp lý; tự động duy trì tỉ lệ trộn giữa dầu thực vật (dầu cọ) và dầu diesel là PO10, PO20, PO30; tự động duy trì mức nhiên liệu trong két để đảm bảo lưu lượng cấp vào động cơ và một số chức năng về cảnh báo, báo động,...



Hình 2. Bộ khuấy trộn và tủ bảng điều khiển tự động của thiết bị trộn

2. Thiết bị camera VisioScope



Hình 3. Thiết bị camera VisioScope

- Thiết bị camera nghiên cứu quá trình công tác động cơ bằng hình ảnh VisioScope có khả năng chụp ảnh và quay phim quá trình phun, hòa trộn - cháy của nhiên liệu trong buồng đốt của động cơ diesel ở mỗi GQTK. Thiết bị bao gồm 01 cảm biến quang, camera cao tốc, ống nội soi và các thiết bị biến đổi tín hiệu, xử lý dữ liệu:

- + Chụp hình ảnh trong buồng đốt với tốc độ cao, độ phân giải động 12bit, tốc độ chớp 10 μ m đến 10 ms;
- + Ống nội soi có làm mát với các góc nhìn 0, 30, 70 độ.

3. Tủ bảng điều khiển trung tâm

Hệ thống thu thập số liệu từ động cơ của hãng AVL, Cộng hòa Áo:

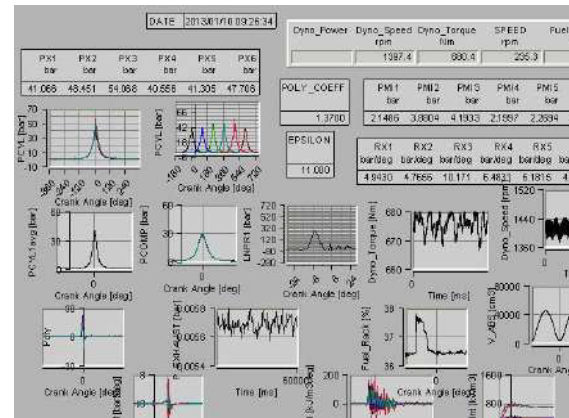
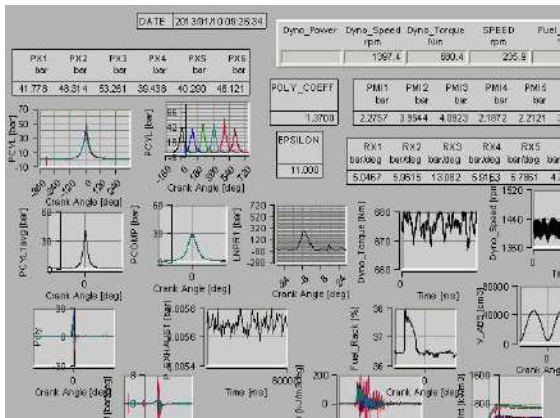
- + Gồm 16 kênh tương tự, 05 kênh áp suất, 06 kênh nhiệt độ, 01 kênh GQTK, 01 kênh mô men, 03 kênh cho các tín hiệu khác;
- + Sai số các cảm biến trong dải công tác không quá 2%;
- + Các thiết bị cảm biến đảm bảo làm việc được trong điều kiện nhiệt độ môi trường đến 800⁰C: 04 bộ cảm biến, biến đổi áp suất 100mbar – 40 bar; 01 bộ cảm biến áp suất khí quyển 800 – 1200mbar; 06 bộ cảm biến nhiệt độ đến 650⁰C; 01 bộ cảm biến GQTK.



Hình 4. Tủ điều khiển trung tâm

+ Ở bàn điều khiển khu vực bên phải dành cho điều khiển từ xa động cơ: với tay ga nhiên liệu, nút khởi động, đảo chiều, các đồng hồ chỉ báo vòng quay, áp suất, nhiệt độ và các đèn tín hiệu.

+ Còn khu vực bên trái bàn điều khiển là hệ thống máy tính, hệ thống này sẽ xuất ra các kết quả thông số và đồ thị: áp suất cháy, thời điểm phun, thời gian cháy trễ, thời điểm bốc cháy, nhiệt độ,...



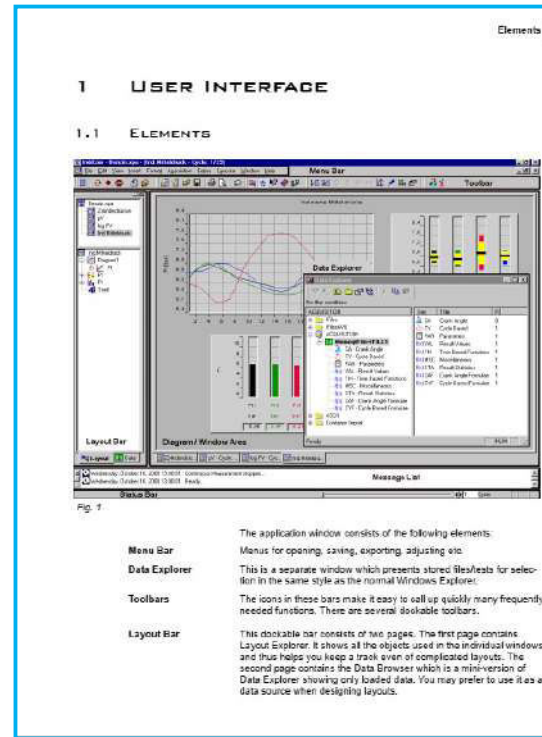
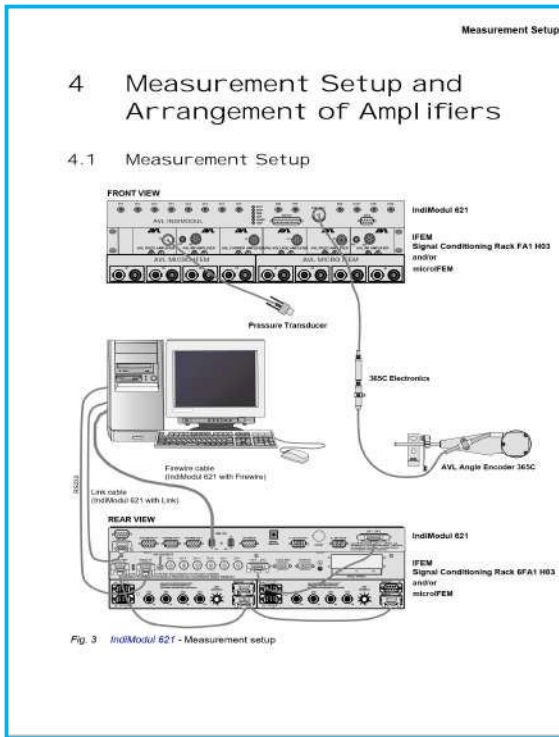
Hình 5. Các thông số, biểu đồ được hiển thị trên máy tính khi đo bằng các thiết bị AVL đối với động cơ 6LU32

- Thiết bị giám sát áp suất quá trình cháy Indi Modul 621 (đo áp suất công tác, vẽ đồ thị) đảm bảo đo đặc 06 kênh áp suất cháy, 01 kênh áp suất phun với độ chính xác cao, phần mềm xử lý, tính toán và hiển thị số liệu dạng số và dạng đồ thị, bao gồm:

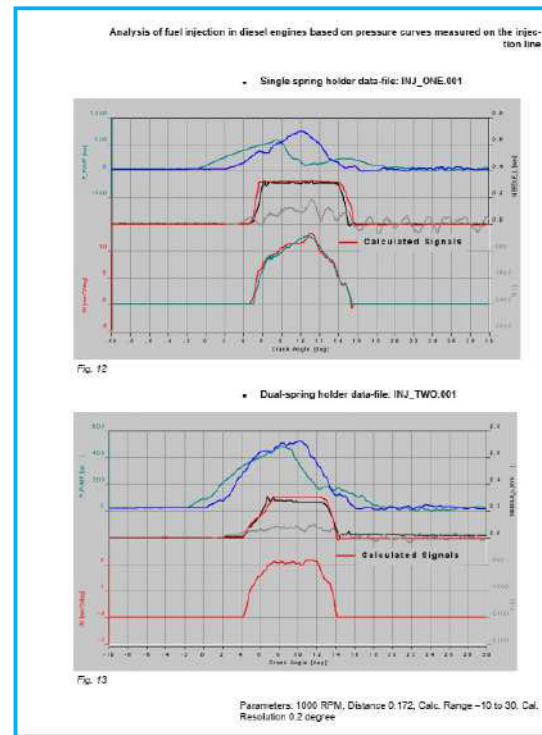
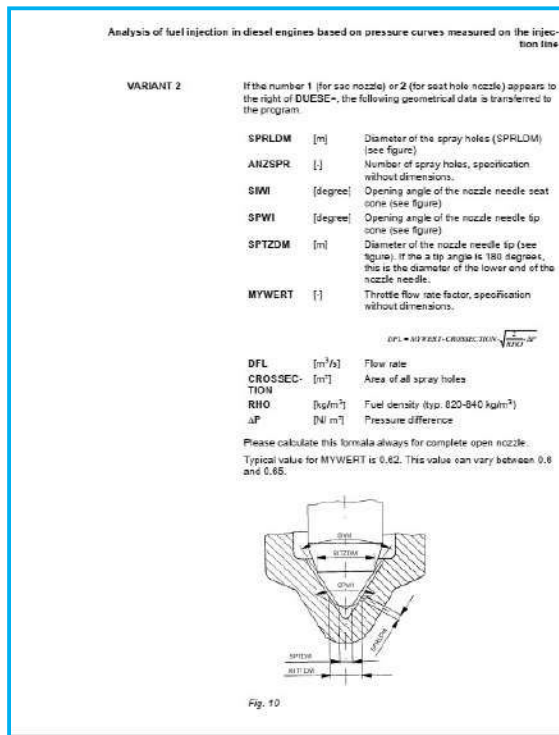
+ Bộ cảm biến và xử lý tín hiệu áp suất cháy tốc độ cao với 06 cảm biến Piezo thạch anh, sai số < 0,01%;

+ 01 cảm biến áp suất phun nhiên liệu cao áp (đến 200MPa);

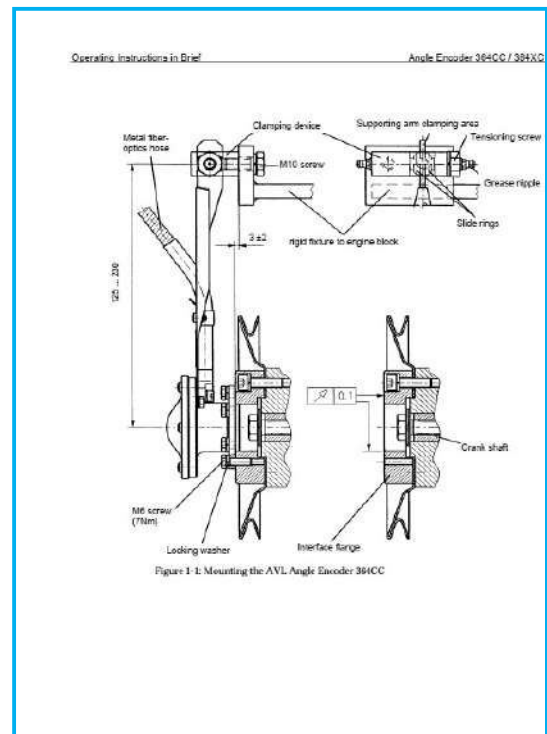
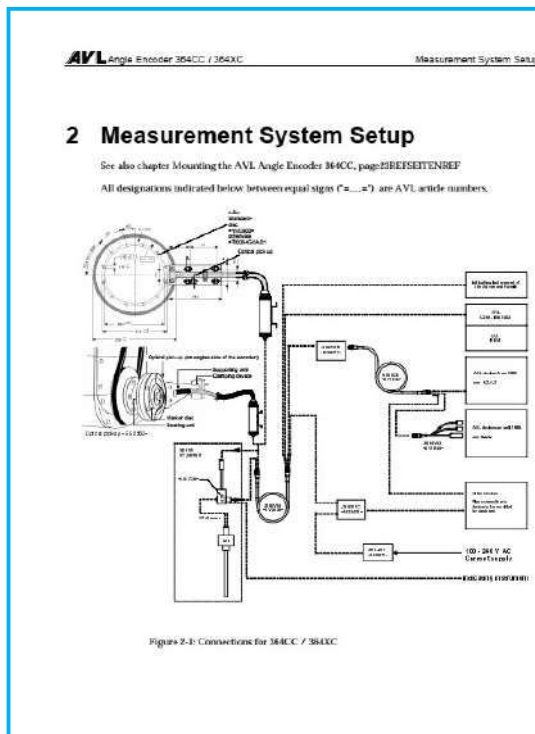
+ Mô đun xử lý dữ liệu sau đo và phần mềm lập công thức tính toán, xử lý đồ họa.



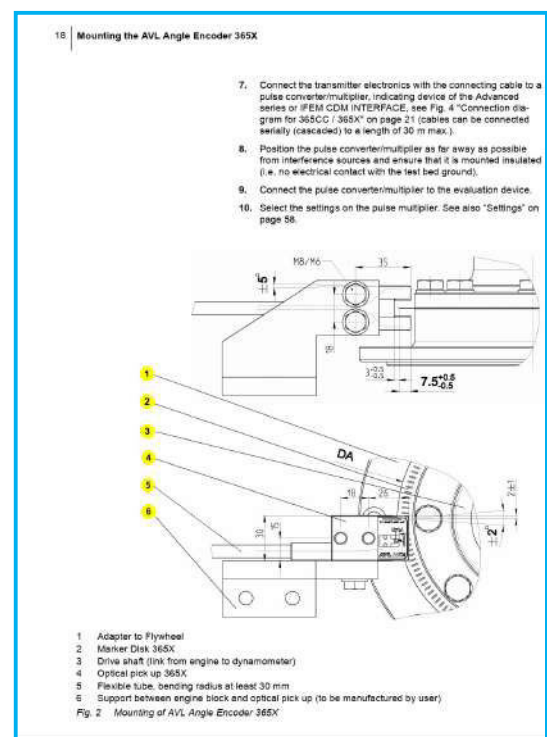
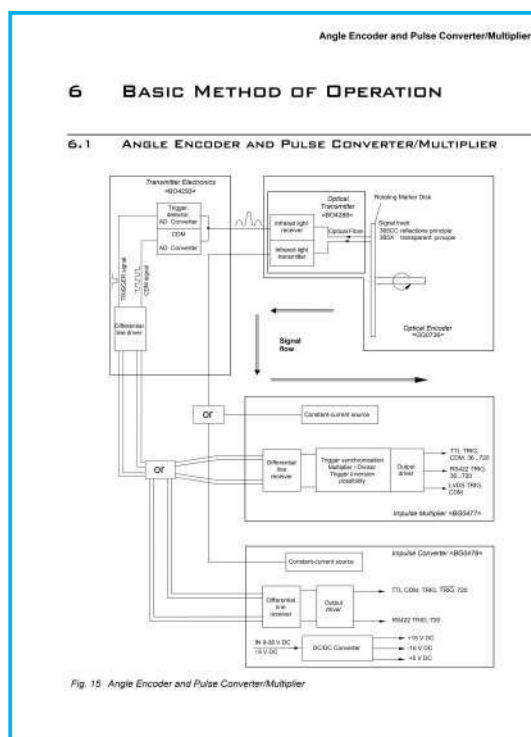
Hình 6. Kết nối và cài đặt các thiết bị đo với máy tính và giao diện sử dụng phần mềm



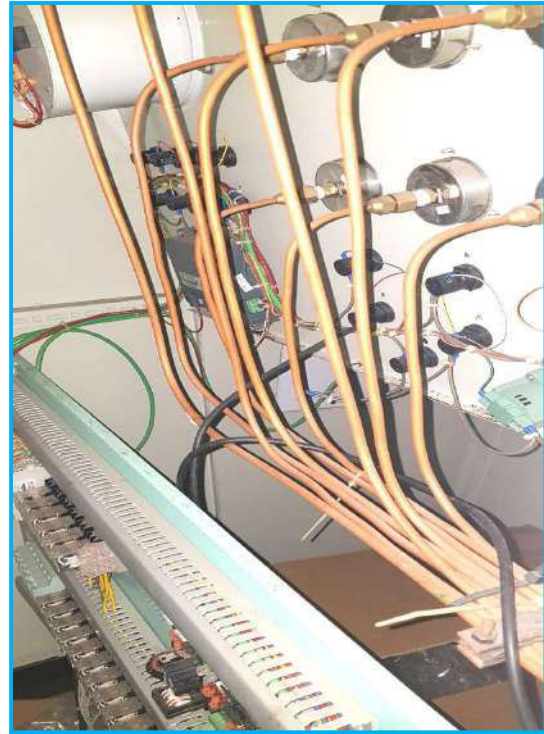
Hình 7. Hướng dẫn sử dụng các thông số đầu vào khai báo vào phần mềm hệ thống máy tính sẽ phân tích các thông số phun khi động cơ hoạt động



Hình 8. Hướng dẫn lắp đặt với động cơ và kết nối với hệ thống máy tính thiết bị đo GPS 364CC



Hình 9. Sơ đồ nguyên lý đo của thiết bị đo GQTK



Hình 10. Các đầu kênh tín hiệu từ Rơ le truyền về hệ thống thiết bị kết nối máy tính trung tâm



Hình 11. Các tài liệu hướng dẫn sử dụng thiết bị đo của AVL - Áo



Hình 12. Thiết bị kiểm soát quá trình công tác động cơ diesel tàu thủy

4. Băng thử vòi phun



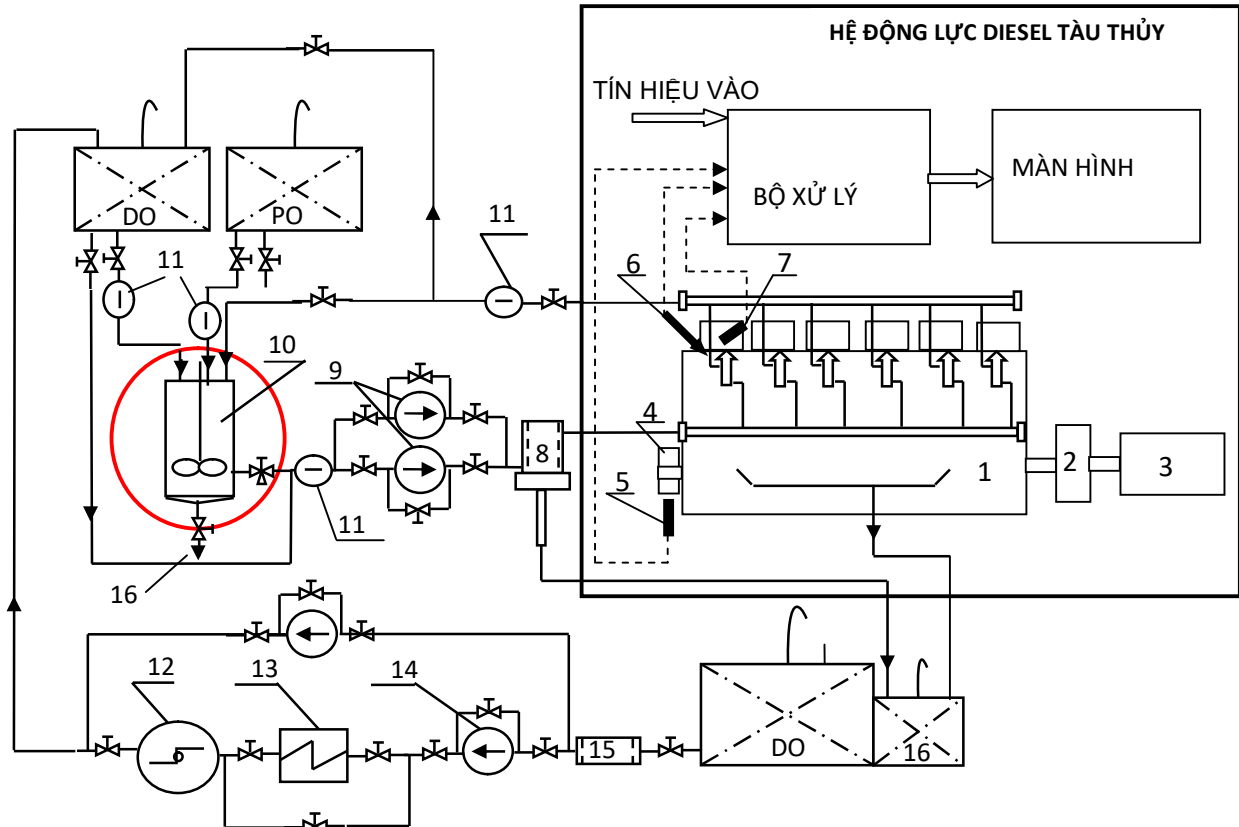
Hình 13. Băng thử vòi phun trong phòng thí nghiệm hệ động lực

Chất lượng của các chi tiết vòi phun được kiểm tra bằng cách quan sát, đo đặc và thử sau khi được tháo, vệ sinh sạch sẽ bằng dầu hoả. Khi quan sát người ta sử dụng kính lúp với độ phóng đại 10 lần, các chi tiết có vết rạn nứt đều phải loại bỏ; lò xo của vòi phun được kiểm tra độ biến dạng dư bằng cách đo chiều cao của nó ở trạng thái tự do và so sánh với chiều cao trong bản vẽ thiết kế, ngoài ra cần phải kiểm tra toàn bộ trạng thái kỹ thuật của vòi phun như tình trạng vòng ren ở thân, đai ốc, các căn đệm làm kín,....

Chất lượng phun, áp suất nâng kim phun được kiểm tra ở trên băng thử vòi phun nhiên liệu bằng thiết bị như trên Hình 13. Độ kín khít của vòi phun được kiểm tra như sau: nâng áp suất của vòi phun lên 300 đến 400 bar sau đó giảm xuống 280 bar theo lý lịch động cơ. Dùng đồng hồ đo thời gian giảm áp suất, những vòi phun mà thời gian giảm áp suất nằm trong khoảng từ 30 đến 60 giây thì được coi là tốt.

5. Thiết bị đo tiêu hao nhiên liệu

Sơ đồ nguyên lý bố trí các thiết bị đo:



Hình 14. Mô hình vật lý hệ thống thử nghiệm nhiên liệu hỗn hợp và thiết bị trộn

- | | |
|--|-----------------------------|
| (1) Động cơ diesel thủy loại HANSHIN 6UL32 | (10) Thiết bị hòa trộn |
| (2) Hộp giảm tốc | (11) Lưu lượng kế |
| (3) Hệ thống phanh thủy lực (thay cho chân vịt để tạo tải) | (12) Bể lọc ly tâm |
| (4) Thiết bị định vị điểm chết trên của piston | (13) Bể hâm |
| (5) Thiết bị đo vòng quay | (14) Bơm chuyển dầu |
| (6) Đầu đo áp suất cháy trong xilanh | (15) Phin lọc thô |
| (7) Camera chụp ảnh và quay video quá trình cháy | (16) Két dầu cặn |
| (8) Phin lọc tinh | (17) Két chứa dầu thực PO |
| (9) Bơm cấp nhiên liệu | (18) Két chứa dầu diesel DO |

Hình 14 thể hiện sơ đồ nguyên lý làm việc của các thiết bị trong đó có các lưu lượng kế (11). Thiết bị này thực hiện theo nguyên lý đo kiểu lưu lượng, có vai trò quan trọng quyết định đến độ chính xác lượng nhiên liệu tiêu thụ của động cơ. Yêu cầu cảm biến phản ứng với tốc độ nhanh, độ nhạy và độ chính xác cao. Lượng nhiên liệu cấp vào động cơ và hồi về két nhiên liệu được đo bằng lưu lượng kế, qua đó cho phép xác định lượng nhiên liệu cấp vào động cơ theo thời gian. Số liệu đo được chuyển về máy tính và xác định được suất tiêu hao nhiên liệu của động cơ.



Hình 15. Bố trí các lưu lượng kế đo PO và DO

6. Thiết bị đo phát thải

Hệ thống đo, kiểm soát khí thải AMA i60 R1 và bộ chia khí bao gồm: cảm biến quang hóa CLD, ion hóa FID, CO, CO₂ NDIR, O₂. Hệ thống đảm bảo xác định chính xác hàm lượng các chất có hại trong khí thải (NO_x, O₂, HC, CO, CO₂) theo tiêu chuẩn IMO;

Ngoài ra, tủ phân tích còn được lắp đặt một máy tính công nghiệp với phần mềm điều khiển GEM110. Việc kết nối máy tính điều khiển với các bộ phân tích được thực hiện thông qua các tín hiệu số. Các bộ phân tích lắp đặt trong tủ được sử dụng để đo các thành phần có trong khí thải như: mônôxít cacbon (CO), cacbon điôxít (CO₂), ôxygen (O₂), ôxít nito (NO và NO_x), hydro cacbon (HC).



1. Máy tính
2. Khối SCU
 - 2a. Khối làm nóng
 - 2b. Khối làm lạnh
 - 2c. Khối điều khiển SCU
 - 2d. Vùng dành cho EGR
3. Vùng đặt các bộ phân tích
4. Bảng đồng hồ khí
5. Công tắc hệ thống
6. Khối chẩn đoán
7. Vỏ tủ

Hình 16. Thiết bị đo phát thải

PHỤ LỤC 2 (CHƯƠNG 4)

**Bảng thông số áp suất trong xi lanh
số 1 động cơ 6LU32 theo GQTK khi
chạy nhiên liệu DO, PO10, PO20,
PO30 ở mức tải 400kW**

Crank Angle deg	DO	PO10	PO20	PO30					
	PCYL1 Bar	PCYL1 Bar	PCYL1 Bar	PCYL1 Bar					
-359	1.111	1.118	1.1	1.051	-305	1.054	1.056	1.071	0.999
-358	1.111	1.124	1.094	1.051	-304	1.054	1.073	1.066	1.005
-357	1.111	1.124	1.1	1.051	-303	1.042	1.078	1.06	0.994
-356	1.105	1.13	1.111	1.045	-302	1.054	1.061	1.054	1.005
-355	1.111	1.135	1.1	1.051	-301	1.048	1.067	1.071	0.999
-354	1.111	1.13	1.1	1.051	-300	1.048	1.073	1.077	0.999
-353	1.105	1.13	1.1	1.056	-299	1.059	1.073	1.066	0.994
-352	1.116	1.141	1.1	1.056	-298	1.059	1.067	1.06	1.011
-351	1.111	1.124	1.105	1.068	-297	1.054	1.078	1.06	0.999
-350	1.105	1.135	1.094	1.062	-296	1.071	1.073	1.071	0.999
-349	1.105	1.135	1.1	1.056	-295	1.059	1.073	1.071	0.999
-348	1.099	1.118	1.1	1.056	-294	1.059	1.073	1.066	0.994
-347	1.099	1.13	1.094	1.056	-293	1.059	1.078	1.066	0.999
-346	1.099	1.118	1.094	1.051	-292	1.054	1.073	1.066	0.994
-345	1.099	1.113	1.1	1.056	-291	1.048	1.073	1.06	0.994
-344	1.105	1.124	1.1	1.056	-290	1.054	1.084	1.06	1.005
-343	1.105	1.118	1.1	1.056	-289	1.059	1.073	1.06	0.999
-342	1.088	1.118	1.094	1.056	-288	1.065	1.073	1.06	0.994
-341	1.099	1.13	1.088	1.056	-287	1.065	1.078	1.06	0.999
-340	1.099	1.113	1.088	1.051	-286	1.065	1.073	1.054	0.999
-339	1.099	1.113	1.088	1.056	-285	1.059	1.078	1.06	0.994
-338	1.094	1.124	1.088	1.051	-284	1.054	1.09	1.06	0.999
-337	1.088	1.107	1.088	1.056	-283	1.059	1.078	1.066	0.994
-336	1.099	1.118	1.088	1.056	-282	1.065	1.084	1.066	0.999
-335	1.099	1.118	1.083	1.056	-281	1.065	1.078	1.06	0.999
-334	1.099	1.118	1.088	1.051	-280	1.065	1.073	1.066	0.999
-333	1.099	1.118	1.094	1.045	-279	1.071	1.078	1.066	0.999
-332	1.099	1.118	1.088	1.039	-278	1.071	1.084	1.066	1.005
-331	1.094	1.107	1.088	1.045	-277	1.071	1.084	1.071	0.999
-330	1.094	1.118	1.083	1.045	-276	1.071	1.084	1.071	1.011
-329	1.082	1.101	1.077	1.045	-275	1.071	1.084	1.071	0.999
-328	1.082	1.095	1.077	1.045	-274	1.076	1.084	1.071	0.994
-327	1.088	1.113	1.083	1.045	-273	1.076	1.09	1.071	0.999
-326	1.088	1.095	1.077	1.033	-272	1.076	1.084	1.077	1.011
-325	1.088	1.113	1.083	1.033	-271	1.071	1.095	1.083	1.011
-324	1.088	1.107	1.083	1.045	-270	1.082	1.09	1.077	1.028
-323	1.088	1.101	1.094	1.039	-269	1.082	1.095	1.077	1.022
-322	1.088	1.107	1.1	1.039	-268	1.082	1.101	1.077	1.011
-321	1.094	1.107	1.105	1.045	-267	1.099	1.101	1.088	1.011
-320	1.111	1.107	1.1	1.033	-266	1.088	1.107	1.088	1.016
-319	1.105	1.135	1.094	1.033	-265	1.094	1.107	1.088	1.011
-318	1.116	1.118	1.088	1.028	-264	1.088	1.09	1.083	1.022
-317	1.116	1.124	1.071	1.028	-263	1.094	1.101	1.088	1.028
-316	1.094	1.13	1.077	1.022	-262	1.094	1.107	1.088	1.028
-315	1.088	1.101	1.066	1.016	-261	1.105	1.113	1.1	1.039
-314	1.088	1.078	1.071	1.005	-260	1.094	1.113	1.1	1.028
-313	1.088	1.095	1.037	0.994	-259	1.105	1.113	1.1	1.033
-312	1.071	1.084	1.066	1.011	-258	1.105	1.124	1.088	1.033
-311	1.059	1.084	1.054	1.011	-257	1.099	1.113	1.094	1.039
-310	1.048	1.084	1.054	1.005	-256	1.105	1.113	1.1	1.045
-309	1.048	1.067	1.048	0.999	-255	1.111	1.118	1.1	1.045
-308	1.054	1.073	1.043	0.999	-254	1.116	1.124	1.105	1.045
-307	1.048	1.067	1.048	0.994	-253	1.111	1.118	1.1	1.045
-306	1.037	1.073	1.06	0.999	-252	1.111	1.135	1.094	1.039
					-251	1.116	1.13	1.1	1.045
					-250	1.116	1.135	1.1	1.056
					-249	1.105	1.13	1.105	1.045
					-248	1.116	1.124	1.1	1.045
					-247	1.128	1.13	1.094	1.056
					-246	1.116	1.13	1.088	1.045
					-245	1.116	1.13	1.088	1.051
					-244	1.128	1.141	1.105	1.056
					-243	1.116	1.135	1.1	1.062
					-242	1.122	1.13	1.1	1.056
					-241	1.128	1.13	1.1	1.062
					-240	1.122	1.13	1.1	1.051
					-239	1.128	1.13	1.1	1.056

-238	1.128	1.141	1.105	1.068	-171	1.145	1.152	1.123	1.079
-237	1.116	1.141	1.1	1.062	-170	1.151	1.158	1.117	1.073
-236	1.116	1.135	1.094	1.062	-169	1.145	1.158	1.123	1.073
-235	1.122	1.147	1.088	1.062	-168	1.151	1.164	1.123	1.079
-234	1.116	1.135	1.094	1.062	-167	1.151	1.158	1.123	1.073
-233	1.122	1.135	1.1	1.062	-166	1.151	1.152	1.123	1.079
-232	1.122	1.141	1.1	1.062	-165	1.156	1.158	1.128	1.079
-231	1.128	1.141	1.1	1.056	-164	1.162	1.164	1.128	1.079
-230	1.122	1.141	1.094	1.068	-163	1.162	1.164	1.123	1.079
-229	1.122	1.141	1.088	1.068	-162	1.162	1.164	1.134	1.09
-228	1.128	1.135	1.1	1.062	-161	1.162	1.17	1.128	1.085
-227	1.128	1.141	1.105	1.062	-160	1.162	1.17	1.134	1.09
-226	1.128	1.135	1.1	1.062	-159	1.173	1.175	1.14	1.096
-225	1.122	1.141	1.1	1.062	-158	1.173	1.175	1.14	1.096
-224	1.128	1.135	1.1	1.068	-157	1.179	1.181	1.14	1.096
-223	1.128	1.135	1.094	1.062	-156	1.168	1.175	1.145	1.102
-222	1.128	1.135	1.105	1.062	-155	1.162	1.187	1.151	1.096
-221	1.128	1.141	1.105	1.068	-154	1.179	1.181	1.145	1.113
-220	1.122	1.141	1.105	1.056	-153	1.168	1.215	1.145	1.119
-219	1.128	1.141	1.105	1.062	-152	1.19	1.192	1.151	1.113
-218	1.128	1.152	1.1	1.068	-151	1.196	1.209	1.168	1.142
-217	1.128	1.147	1.105	1.068	-150	1.213	1.227	1.168	1.136
-216	1.122	1.141	1.111	1.056	-149	1.219	1.209	1.185	1.113
-215	1.139	1.141	1.105	1.062	-148	1.219	1.232	1.18	1.136
-214	1.128	1.141	1.111	1.062	-147	1.219	1.227	1.191	1.147
-213	1.133	1.141	1.105	1.068	-146	1.242	1.232	1.191	1.153
-212	1.128	1.147	1.105	1.062	-145	1.236	1.232	1.197	1.153
-211	1.133	1.141	1.1	1.068	-144	1.23	1.249	1.202	1.165
-210	1.133	1.141	1.105	1.068	-143	1.248	1.232	1.214	1.159
-209	1.128	1.141	1.105	1.068	-142	1.248	1.261	1.225	1.176
-208	1.133	1.141	1.105	1.062	-141	1.265	1.272	1.225	1.176
-207	1.139	1.152	1.105	1.068	-140	1.27	1.278	1.225	1.187
-206	1.133	1.141	1.105	1.062	-139	1.265	1.278	1.242	1.199
-205	1.133	1.152	1.111	1.062	-138	1.287	1.284	1.248	1.204
-204	1.133	1.147	1.105	1.073	-137	1.305	1.295	1.254	1.199
-203	1.139	1.147	1.1	1.079	-136	1.299	1.306	1.265	1.21
-202	1.139	1.147	1.1	1.073	-135	1.316	1.312	1.271	1.222
-201	1.145	1.147	1.105	1.068	-134	1.316	1.341	1.276	1.222
-200	1.145	1.141	1.111	1.073	-133	1.322	1.341	1.294	1.239
-199	1.145	1.141	1.111	1.068	-132	1.35	1.335	1.299	1.244
-198	1.133	1.141	1.105	1.068	-131	1.344	1.352	1.311	1.25
-197	1.139	1.152	1.111	1.073	-130	1.356	1.363	1.316	1.273
-196	1.139	1.152	1.1	1.079	-129	1.373	1.375	1.328	1.284
-195	1.139	1.152	1.105	1.073	-128	1.39	1.38	1.339	1.279
-194	1.139	1.152	1.111	1.079	-127	1.396	1.403	1.345	1.301
-193	1.151	1.152	1.1	1.079	-126	1.407	1.398	1.356	1.313
-192	1.145	1.152	1.111	1.073	-125	1.419	1.42	1.368	1.313
-191	1.145	1.152	1.111	1.073	-124	1.436	1.426	1.385	1.336
-190	1.145	1.158	1.105	1.073	-123	1.441	1.449	1.396	1.341
-189	1.145	1.147	1.111	1.073	-122	1.453	1.466	1.408	1.358
-188	1.139	1.147	1.111	1.085	-121	1.47	1.472	1.413	1.37
-187	1.151	1.152	1.105	1.079	-120	1.493	1.477	1.43	1.381
-186	1.145	1.147	1.111	1.079	-119	1.504	1.506	1.442	1.387
-185	1.151	1.158	1.105	1.079	-118	1.515	1.512	1.465	1.415
-184	1.145	1.152	1.111	1.079	-117	1.527	1.529	1.476	1.421
-183	1.145	1.147	1.117	1.073	-116	1.55	1.551	1.487	1.438
-182	1.151	1.152	1.105	1.079	-115	1.567	1.563	1.51	1.461
-181	1.145	1.152	1.111	1.079	-114	1.578	1.574	1.527	1.467
-180	1.145	1.152	1.117	1.085	-113	1.595	1.597	1.544	1.484
-179	1.145	1.152	1.111	1.073	-112	1.618	1.608	1.561	1.512
-178	1.151	1.152	1.105	1.079	-111	1.624	1.631	1.579	1.518
-177	1.151	1.152	1.117	1.073	-110	1.652	1.654	1.596	1.541
-176	1.151	1.158	1.117	1.079	-109	1.675	1.671	1.618	1.558
-175	1.151	1.152	1.117	1.079	-108	1.692	1.694	1.636	1.575
-174	1.145	1.152	1.111	1.085	-107	1.721	1.711	1.653	1.592
-173	1.139	1.158	1.111	1.085	-106	1.738	1.734	1.681	1.621
-172	1.145	1.141	1.117	1.079	-105	1.755	1.768	1.698	1.638

-104	1.783	1.785	1.721	1.661	-37	9.907	9.795	9.4	9.055
-103	1.8	1.808	1.75	1.683	-36	10.306	10.171	9.793	9.414
-102	1.835	1.831	1.767	1.706	-35	10.711	10.582	10.181	9.796
-101	1.863	1.859	1.795	1.729	-34	11.144	11.026	10.586	10.178
-100	1.886	1.894	1.818	1.752	-33	11.606	11.471	11.025	10.588
-99	1.914	1.911	1.847	1.78	-32	12.073	11.95	11.481	11.021
-98	1.949	1.945	1.881	1.809	-31	12.592	12.44	11.96	11.483
-97	1.972	1.973	1.909	1.837	-30	13.1	12.959	12.456	11.968
-96	2.006	2.008	1.926	1.86	-29	13.664	13.506	12.975	12.469
-95	2.046	2.03	1.966	1.894	-28	14.194	14.082	13.51	12.982
-94	2.074	2.07	1.995	1.928	-27	14.844	14.675	14.086	13.507
-93	2.108	2.11	2.035	1.951	-26	15.454	15.29	14.668	14.083
-92	2.137	2.133	2.069	1.997	-25	16.092	15.9	15.272	14.67
-91	2.188	2.173	2.097	2.014	-24	16.725	16.567	15.905	15.286
-90	2.217	2.213	2.137	2.06	-23	17.404	17.263	16.56	15.913
-89	2.257	2.247	2.171	2.1	-22	18.111	17.958	17.21	16.568
-88	2.302	2.293	2.223	2.134	-21	18.852	18.694	17.917	17.224
-87	2.348	2.332	2.257	2.168	-20	19.581	19.418	18.596	17.948
-86	2.388	2.384	2.297	2.219	-19	20.357	20.193	19.342	18.649
-85	2.439	2.435	2.342	2.253	-18	21.109	20.968	20.066	19.39
-84	2.485	2.475	2.388	2.299	-17	21.845	21.755	20.825	20.126
-83	2.542	2.526	2.434	2.356	-16	22.637	22.548	21.588	20.889
-82	2.581	2.583	2.479	2.396	-15	23.384	23.329	22.324	21.625
-81	2.644	2.629	2.531	2.442	-14	24.125	24.098	23.071	22.372
-80	2.684	2.68	2.582	2.499	-13	24.838	24.856	23.783	23.107
-79	2.758	2.743	2.639	2.55	-12	25.59	25.586	24.479	23.842
-78	2.821	2.794	2.707	2.607	-11	26.291	26.344	25.214	24.527
-77	2.878	2.863	2.764	2.67	-10	26.941	27.04	25.887	25.581
-76	2.946	2.931	2.827	2.727	-9	27.568	27.701	26.503	26.208
-75	3.003	2.988	2.89	2.789	-8	28.121	28.317	27.113	26.807
-74	3.089	3.062	2.958	2.852	-7	28.623	28.847	27.648	27.337
-73	3.157	3.136	3.027	2.926	-6	28.976	29.332	28.087	27.827
-72	3.237	3.216	3.095	2.989	-5	29.204	29.651	28.395	28.158
-71	3.317	3.302	3.181	3.063	-4	29.546	29.896	28.851	28.363
-70	3.397	3.37	3.26	3.143	-3	31.673	30.745	31.023	28.722
-69	3.482	3.461	3.34	3.217	-2	38.451	35.5	36.262	30.324
-68	3.579	3.547	3.426	3.302	-1	40.999	40.471	37.528	36.373
-67	3.676	3.649	3.523	3.388	0	39.021	41.343	36.091	39.902
-66	3.762	3.741	3.614	3.479	1	37.054	37.86	39.763	37.758
-65	3.864	3.843	3.705	3.576	2	40.52	40.169	44.238	34.6
-64	3.984	3.952	3.813	3.673	3	47.071	46.451	45.099	35.957
-63	4.092	4.06	3.922	3.77	4	49.38	51.525	43.673	39.383
-62	4.206	4.18	4.019	3.884	5	46.119	50.436	45.669	41.652
-61	4.332	4.299	4.15	3.998	6	47.401	46.919	48.24	39.235
-60	4.451	4.425	4.269	4.112	7	52.327	48.543	45.572	43.048
-59	4.6	4.562	4.395	4.232	8	53.245	52.869	49.241	45.823
-58	4.748	4.693	4.526	4.363	9	48.057	51.052	47.333	45.098
-57	4.89	4.847	4.663	4.505	10	47.39	48.025	46.296	39.337
-56	5.039	4.995	4.805	4.636	11	48.958	46.867	43.639	36.875
-55	5.192	5.149	4.965	4.785	12	50.081	48.481	44.112	34.11
-54	5.363	5.314	5.124	4.939	13	46.934	49.324	44.306	34.184
-53	5.54	5.496	5.278	5.092	14	45.298	46.269	41.906	35.33
-52	5.734	5.667	5.455	5.263	15	45.526	43.949	40.036	35.176
-51	5.922	5.873	5.638	5.446	16	46.227	42.831	40.299	32.992
-50	6.127	6.067	5.831	5.623	17	43.496	43.561	39.409	30.296
-49	6.344	6.283	6.031	5.822	18	40.572	42.632	36.895	29.92
-48	6.566	6.454	6.242	6.039	19	39.842	39.234	35.441	30.484
-47	6.812	6.739	6.47	6.244	20	40.116	37.182	35.533	29.954
-46	7.057	6.984	6.704	6.466	21	39.107	36.532	34.444	28.095
-45	7.307	7.235	6.949	6.711	22	36.308	36.857	32.095	26.043
-44	7.575	7.503	7.205	6.951	23	34.124	35.705	30.818	25.194
-43	7.86	7.782	7.479	7.196	24	34.044	33.299	30.499	24.96
-42	8.151	8.079	7.753	7.481	25	33.366	30.877	29.581	24.852
-41	8.482	8.364	8.043	7.76	26	32.397	30.335	27.688	23.432
-40	8.812	8.706	8.374	8.051	27	30.327	30.113	26.309	21.955
-39	9.149	9.048	8.699	8.37	28	28.868	29.029	25.893	21.021
-38	9.531	9.407	9.035	8.707	29	28.013	27.274	25.311	20.439

30	27.289	25.563	23.863	20.16	97	4.383	4.18	3.648	2.989
31	26.576	25.136	22.484	19.573	98	4.297	4.128	3.574	2.938
32	25.1	24.993	21.988	18.392	99	4.246	4.06	3.511	2.892
33	23.686	24.452	21.44	17.269	100	4.178	3.986	3.454	2.846
34	22.865	23.243	20.551	16.528	101	4.138	3.934	3.426	2.801
35	22.637	22.04	19.274	16.152	102	4.081	3.866	3.369	2.767
36	22.135	20.883	18.55	15.821	103	4.018	3.82	3.323	2.709
37	21.121	20.256	18.128	15.303	104	3.955	3.786	3.277	2.687
38	20.02	19.988	17.678	14.453	105	3.893	3.735	3.232	2.63
39	18.994	19.31	16.657	13.752	106	3.836	3.689	3.175	2.618
40	18.361	18.272	15.922	13.131	107	3.801	3.632	3.146	2.567
41	18.048	17.491	15.363	12.851	108	3.756	3.57	3.112	2.544
42	17.54	16.773	15.027	12.555	109	3.727	3.53	3.061	2.493
43	16.6	16.334	14.616	12.087	110	3.682	3.49	3.021	2.476
44	15.933	15.855	13.824	11.665	111	3.619	3.456	2.987	2.424
45	15.323	15.365	13.254	11.13	112	3.573	3.427	2.958	2.413
46	14.855	14.601	12.855	10.52	113	3.528	3.376	2.924	2.373
47	14.61	13.763	12.53	10.32	114	3.494	3.342	2.89	2.362
48	14.394	13.392	12.125	10.018	115	3.465	3.296	2.856	2.322
49	13.744	13.13	11.612	9.761	116	3.425	3.262	2.816	2.31
50	13.1	12.873	11.145	9.528	117	3.397	3.222	2.793	2.265
51	12.581	12.554	10.86	9.009	118	3.368	3.205	2.764	2.259
52	12.227	11.933	10.592	8.712	119	3.317	3.176	2.742	2.219
53	11.988	11.374	10.238	8.342	120	3.288	3.142	2.707	2.208
54	11.754	11.038	9.822	8.154	121	3.248	3.108	2.685	2.185
55	11.401	10.633	9.486	8.023	122	3.226	3.079	2.662	2.174
56	10.825	10.604	9.24	7.703	123	3.197	3.045	2.628	2.151
57	10.511	10.314	9.018	7.584	124	3.174	3.011	2.599	2.122
58	10.129	9.96	8.773	7.162	125	3.152	2.994	2.593	2.105
59	10.027	9.567	8.454	6.997	126	3.112	2.971	2.559	2.082
60	9.793	9.248	8.146	6.763	127	3.089	2.948	2.542	2.06
61	9.508	8.997	7.929	6.569	128	3.06	2.925	2.514	2.048
62	9.166	8.792	7.764	6.535	129	3.038	2.903	2.496	2.043
63	8.864	8.581	7.604	6.255	130	3.02	2.874	2.474	2.02
64	8.613	8.358	7.336	6.176	131	3.003	2.846	2.468	2.014
65	8.425	8.187	7.091	5.868	132	2.975	2.828	2.439	1.991
66	8.254	7.822	6.886	5.72	133	2.952	2.811	2.422	1.974
67	8.1	7.594	6.766	5.583	134	2.929	2.789	2.4	1.957
68	7.866	7.486	6.635	5.4	135	2.906	2.777	2.388	1.946
69	7.632	7.378	6.43	5.377	136	2.884	2.749	2.365	1.928
70	7.376	7.138	6.225	5.161	137	2.872	2.737	2.354	1.923
71	7.222	6.979	6.082	5.127	138	2.855	2.714	2.331	1.906
72	7.079	6.819	5.957	4.887	139	2.844	2.703	2.32	1.9
73	6.965	6.591	5.831	4.802	140	2.815	2.686	2.314	1.877
74	6.812	6.414	5.7	4.659	141	2.804	2.669	2.297	1.871
75	6.675	6.363	5.558	4.568	142	2.781	2.652	2.28	1.854
76	6.452	6.203	5.41	4.511	143	2.77	2.646	2.274	1.854
77	6.321	6.067	5.267	4.368	144	2.758	2.629	2.257	1.832
78	6.173	5.941	5.17	4.323	145	2.741	2.606	2.246	1.832
79	6.042	5.781	5.102	4.146	146	2.735	2.6	2.234	1.809
80	5.979	5.616	4.988	4.112	147	2.724	2.578	2.217	1.814
81	5.842	5.559	4.845	3.964	148	2.696	2.572	2.211	1.792
82	5.723	5.422	4.748	3.941	149	2.678	2.561	2.206	1.792
83	5.574	5.365	4.668	3.838	150	2.667	2.543	2.177	1.775
84	5.449	5.263	4.583	3.787	151	2.639	2.538	2.16	1.763
85	5.346	5.132	4.492	3.719	152	2.621	2.498	2.143	1.763
86	5.267	5.04	4.4	3.616	153	2.593	2.481	2.132	1.746
87	5.198	4.915	4.309	3.565	154	2.57	2.464	2.109	1.718
88	5.107	4.847	4.212	3.445	155	2.547	2.424	2.08	1.723
89	5.016	4.778	4.155	3.439	156	2.507	2.412	2.057	1.695
90	4.902	4.681	4.098	3.325	157	2.479	2.39	2.023	1.678
91	4.816	4.653	4.024	3.342	158	2.456	2.344	2	1.661
92	4.725	4.527	3.939	3.223	159	2.416	2.321	1.983	1.638
93	4.662	4.459	3.87	3.211	160	2.382	2.293	1.943	1.621
94	4.617	4.379	3.813	3.109	161	2.336	2.253	1.909	1.598
95	4.531	4.288	3.745	3.091	162	2.291	2.213	1.875	1.581
96	4.463	4.254	3.699	3.006	163	2.245	2.179	1.829	1.547

164	2.205	2.127	1.807	1.541	231	1.248	1.249	1.151	1.147
165	2.154	2.099	1.772	1.507	232	1.236	1.255	1.145	1.147
166	2.12	2.053	1.727	1.49	233	1.259	1.249	1.151	1.147
167	2.074	2.013	1.693	1.467	234	1.248	1.255	1.145	1.153
168	2.017	1.979	1.658	1.444	235	1.236	1.255	1.151	1.147
169	1.983	1.922	1.613	1.427	236	1.248	1.255	1.14	1.159
170	1.932	1.894	1.573	1.393	237	1.242	1.244	1.14	1.165
171	1.897	1.854	1.55	1.376	238	1.236	1.261	1.151	1.159
172	1.823	1.802	1.51	1.358	239	1.242	1.244	1.145	1.165
173	1.812	1.78	1.47	1.341	240	1.225	1.255	1.14	1.17
174	1.795	1.734	1.442	1.313	241	1.248	1.244	1.14	1.17
175	1.743	1.688	1.442	1.301	242	1.236	1.244	1.14	1.17
176	1.686	1.666	1.408	1.279	243	1.236	1.255	1.145	1.17
177	1.675	1.631	1.373	1.273	244	1.23	1.238	1.14	1.176
178	1.658	1.608	1.356	1.25	245	1.236	1.244	1.145	1.17
179	1.584	1.591	1.345	1.233	246	1.242	1.244	1.151	1.17
180	1.59	1.54	1.351	1.239	247	1.236	1.232	1.157	1.182
181	1.572	1.54	1.328	1.222	248	1.23	1.244	1.157	1.182
182	1.51	1.512	1.305	1.204	249	1.225	1.238	1.151	1.17
183	1.527	1.506	1.294	1.193	250	1.236	1.232	1.157	1.182
184	1.476	1.472	1.288	1.21	251	1.219	1.232	1.157	1.176
185	1.493	1.466	1.299	1.193	252	1.219	1.238	1.162	1.182
186	1.436	1.443	1.288	1.199	253	1.225	1.232	1.157	1.182
187	1.453	1.437	1.265	1.176	254	1.23	1.238	1.157	1.182
188	1.441	1.443	1.276	1.176	255	1.23	1.238	1.157	1.182
189	1.43	1.42	1.276	1.182	256	1.225	1.232	1.157	1.182
190	1.424	1.403	1.271	1.17	257	1.225	1.238	1.162	1.182
191	1.424	1.415	1.276	1.199	258	1.219	1.238	1.162	1.182
192	1.419	1.392	1.271	1.17	259	1.242	1.238	1.162	1.182
193	1.436	1.386	1.265	1.187	260	1.225	1.244	1.162	1.182
194	1.384	1.392	1.254	1.17	261	1.23	1.238	1.162	1.187
195	1.413	1.38	1.265	1.187	262	1.219	1.244	1.168	1.182
196	1.401	1.386	1.254	1.17	263	1.23	1.238	1.168	1.187
197	1.39	1.375	1.242	1.182	264	1.219	1.244	1.168	1.193
198	1.401	1.38	1.242	1.182	265	1.23	1.244	1.168	1.193
199	1.367	1.369	1.237	1.182	266	1.248	1.244	1.162	1.199
200	1.396	1.386	1.225	1.193	267	1.23	1.244	1.168	1.193
201	1.367	1.358	1.219	1.17	268	1.23	1.249	1.18	1.204
202	1.373	1.375	1.214	1.182	269	1.242	1.255	1.18	1.199
203	1.367	1.358	1.214	1.176	270	1.236	1.249	1.168	1.204
204	1.379	1.352	1.197	1.182	271	1.23	1.255	1.18	1.204
205	1.35	1.352	1.197	1.187	272	1.242	1.255	1.18	1.216
206	1.362	1.346	1.191	1.187	273	1.236	1.255	1.185	1.216
207	1.339	1.341	1.191	1.17	274	1.248	1.249	1.185	1.21
208	1.356	1.335	1.191	1.182	275	1.23	1.255	1.185	1.222
209	1.333	1.341	1.191	1.176	276	1.242	1.266	1.18	1.222
210	1.322	1.323	1.18	1.165	277	1.236	1.255	1.185	1.222
211	1.339	1.335	1.18	1.176	278	1.248	1.255	1.191	1.227
212	1.299	1.306	1.168	1.159	279	1.236	1.261	1.191	1.233
213	1.333	1.318	1.168	1.165	280	1.242	1.261	1.191	1.227
214	1.299	1.295	1.168	1.159	281	1.242	1.255	1.185	1.239
215	1.322	1.301	1.162	1.159	282	1.242	1.261	1.197	1.239
216	1.282	1.301	1.174	1.153	283	1.242	1.261	1.197	1.239
217	1.293	1.284	1.157	1.153	284	1.242	1.266	1.197	1.239
218	1.276	1.289	1.162	1.147	285	1.248	1.266	1.197	1.239
219	1.265	1.278	1.162	1.142	286	1.248	1.266	1.197	1.244
220	1.276	1.272	1.168	1.147	287	1.248	1.266	1.197	1.244
221	1.265	1.272	1.162	1.142	288	1.248	1.266	1.202	1.239
222	1.27	1.266	1.157	1.142	289	1.248	1.266	1.208	1.244
223	1.259	1.261	1.168	1.142	290	1.259	1.266	1.202	1.244
224	1.248	1.266	1.162	1.142	291	1.253	1.266	1.208	1.256
225	1.253	1.255	1.157	1.142	292	1.253	1.266	1.202	1.25
226	1.253	1.255	1.162	1.147	293	1.259	1.272	1.214	1.25
227	1.259	1.266	1.157	1.142	294	1.253	1.272	1.208	1.25
228	1.242	1.244	1.157	1.147	295	1.253	1.266	1.208	1.244
229	1.253	1.255	1.157	1.147	296	1.265	1.278	1.214	1.25
230	1.242	1.255	1.151	1.136	297	1.259	1.272	1.208	1.256

298	1.253	1.289	1.225	1.244
299	1.265	1.278	1.219	1.261
300	1.253	1.278	1.225	1.261
301	1.259	1.284	1.208	1.256
302	1.259	1.284	1.202	1.25
303	1.242	1.255	1.202	1.244
304	1.23	1.261	1.208	1.227
305	1.242	1.249	1.208	1.233
306	1.213	1.244	1.191	1.233
307	1.219	1.255	1.18	1.21
308	1.225	1.238	1.18	1.222
309	1.196	1.238	1.185	1.21
310	1.208	1.232	1.174	1.187
311	1.19	1.215	1.168	1.199
312	1.19	1.221	1.157	1.176
313	1.185	1.192	1.157	1.17
314	1.173	1.187	1.168	1.165
315	1.179	1.192	1.168	1.153
316	1.185	1.181	1.157	1.147
317	1.173	1.181	1.151	1.153
318	1.173	1.187	1.145	1.147
319	1.179	1.187	1.157	1.142
320	1.162	1.187	1.151	1.142
321	1.168	1.187	1.145	1.136
322	1.168	1.17	1.128	1.136
323	1.162	1.175	1.128	1.13
324	1.162	1.17	1.134	1.136
325	1.151	1.164	1.128	1.125
326	1.156	1.17	1.128	1.13
327	1.139	1.158	1.117	1.119
328	1.139	1.158	1.111	1.119
329	1.133	1.152	1.111	1.113
330	1.128	1.135	1.111	1.102
331	1.133	1.147	1.111	1.096
332	1.128	1.147	1.105	1.096
333	1.128	1.13	1.111	1.09
334	1.128	1.141	1.1	1.096
335	1.122	1.135	1.105	1.085
336	1.122	1.13	1.111	1.085
337	1.111	1.124	1.111	1.073
338	1.122	1.118	1.111	1.062
339	1.116	1.118	1.1	1.062
340	1.122	1.13	1.105	1.068
341	1.111	1.13	1.1	1.062
342	1.111	1.124	1.105	1.056
343	1.105	1.124	1.111	1.062
344	1.116	1.118	1.1	1.056
345	1.116	1.124	1.105	1.051
346	1.128	1.13	1.1	1.056
347	1.116	1.13	1.105	1.056
348	1.116	1.135	1.105	1.056
349	1.111	1.13	1.105	1.056
350	1.105	1.124	1.105	1.056
351	1.105	1.118	1.105	1.056
352	1.105	1.113	1.111	1.056
353	1.116	1.113	1.111	1.045
354	1.116	1.13	1.111	1.051
355	1.111	1.118	1.111	1.056
356	1.111	1.118	1.105	1.051
357	1.111	1.118	1.1	1.056
358	1.116	1.118	1.1	1.045
359	1.116	1.124	1.105	1.051

PHỤ LỤC 3 (CHƯƠNG 4)

**Bảng thông số áp suất trong xi lanh
số 1 động cơ 6LU32 theo GQTK khi
chạy nhiên liệu DO, PO10, PO20,
PO30 ở mức tải 600kW**

Crank Angle deg	DO	PO10	PO20	PO30				
	PCYL1 Bar	PCYL1 Bar	PCYL1 Bar	PCYL1 Bar				
-359	1.111	1.118	1.1	1.051	-305	1.054	1.056	1.071
-358	1.111	1.124	1.094	1.051	-304	1.054	1.073	1.066
-357	1.111	1.124	1.1	1.051	-303	1.042	1.078	1.06
-356	1.105	1.13	1.111	1.045	-302	1.054	1.061	1.054
-355	1.111	1.135	1.1	1.051	-301	1.048	1.067	1.071
-354	1.111	1.13	1.1	1.051	-300	1.048	1.073	1.077
-353	1.105	1.13	1.1	1.056	-299	1.059	1.073	1.066
-352	1.116	1.141	1.1	1.056	-298	1.059	1.067	1.06
-351	1.111	1.124	1.105	1.068	-297	1.054	1.078	1.06
-350	1.105	1.135	1.094	1.062	-296	1.071	1.073	1.071
-349	1.105	1.135	1.1	1.056	-295	1.059	1.073	1.071
-348	1.099	1.118	1.1	1.056	-294	1.059	1.073	1.066
-347	1.099	1.13	1.094	1.056	-293	1.059	1.078	1.066
-346	1.099	1.118	1.094	1.051	-292	1.054	1.073	1.066
-345	1.099	1.113	1.1	1.056	-291	1.048	1.073	1.06
-344	1.105	1.124	1.1	1.056	-290	1.054	1.084	1.06
-343	1.105	1.118	1.1	1.056	-289	1.059	1.073	1.06
-342	1.088	1.118	1.094	1.056	-288	1.065	1.073	1.06
-341	1.099	1.13	1.088	1.056	-287	1.065	1.078	1.06
-340	1.099	1.113	1.088	1.051	-286	1.065	1.073	1.054
-339	1.099	1.113	1.088	1.056	-285	1.059	1.078	1.06
-338	1.094	1.124	1.088	1.051	-284	1.054	1.09	1.06
-337	1.088	1.107	1.088	1.056	-283	1.059	1.078	1.066
-336	1.099	1.118	1.088	1.056	-282	1.065	1.084	1.066
-335	1.099	1.118	1.083	1.056	-281	1.065	1.078	1.06
-334	1.099	1.118	1.088	1.051	-280	1.065	1.073	1.066
-333	1.099	1.118	1.094	1.045	-279	1.071	1.078	1.066
-332	1.099	1.118	1.088	1.039	-278	1.071	1.084	1.066
-331	1.094	1.107	1.088	1.045	-277	1.071	1.084	1.071
-330	1.094	1.118	1.083	1.045	-276	1.071	1.084	1.071
-329	1.082	1.101	1.077	1.045	-275	1.071	1.084	1.071
-328	1.082	1.095	1.077	1.045	-274	1.076	1.084	1.071
-327	1.088	1.113	1.083	1.045	-273	1.076	1.09	1.071
-326	1.088	1.095	1.077	1.033	-272	1.076	1.084	1.077
-325	1.088	1.113	1.083	1.033	-271	1.071	1.095	1.083
-324	1.088	1.107	1.083	1.045	-270	1.082	1.09	1.077
-323	1.088	1.101	1.094	1.039	-269	1.082	1.095	1.077
-322	1.088	1.107	1.1	1.039	-268	1.082	1.101	1.077
-321	1.094	1.107	1.105	1.045	-267	1.099	1.101	1.088
-320	1.111	1.107	1.1	1.033	-266	1.088	1.107	1.088
-319	1.105	1.135	1.094	1.033	-265	1.094	1.107	1.088
-318	1.116	1.118	1.088	1.028	-264	1.088	1.09	1.083
-317	1.116	1.124	1.071	1.028	-263	1.094	1.101	1.088
-316	1.094	1.13	1.077	1.022	-262	1.094	1.107	1.088
-315	1.088	1.101	1.066	1.016	-261	1.105	1.113	1.1
-314	1.088	1.078	1.071	1.005	-260	1.094	1.113	1.1
-313	1.088	1.095	1.037	0.994	-259	1.105	1.113	1.1
-312	1.071	1.084	1.066	1.011	-258	1.105	1.124	1.088
-311	1.059	1.084	1.054	1.011	-257	1.099	1.113	1.094
-310	1.048	1.084	1.054	1.005	-256	1.105	1.113	1.1
-309	1.048	1.067	1.048	0.999	-255	1.111	1.118	1.1
-308	1.054	1.073	1.043	0.999	-254	1.116	1.124	1.105
-307	1.048	1.067	1.048	0.994	-253	1.111	1.118	1.1
-306	1.037	1.073	1.06	0.999	-252	1.111	1.135	1.094
					-251	1.116	1.13	1.1
					-250	1.116	1.135	1.1
					-249	1.105	1.13	1.105
					-248	1.116	1.124	1.1
					-247	1.128	1.13	1.094
					-246	1.116	1.13	1.088
					-245	1.116	1.13	1.088
					-244	1.128	1.141	1.105
					-243	1.116	1.135	1.1
					-242	1.122	1.13	1.1
					-241	1.128	1.13	1.1
					-240	1.122	1.13	1.1
					-239	1.128	1.13	1.1

-238	1.128	1.141	1.105	1.068	-171	1.145	1.152	1.123	1.079
-237	1.116	1.141	1.1	1.062	-170	1.151	1.158	1.117	1.073
-236	1.116	1.135	1.094	1.062	-169	1.145	1.158	1.123	1.073
-235	1.122	1.147	1.088	1.062	-168	1.151	1.164	1.123	1.079
-234	1.116	1.135	1.094	1.062	-167	1.151	1.158	1.123	1.073
-233	1.122	1.135	1.1	1.062	-166	1.151	1.152	1.123	1.079
-232	1.122	1.141	1.1	1.062	-165	1.156	1.158	1.128	1.079
-231	1.128	1.141	1.1	1.056	-164	1.162	1.164	1.128	1.079
-230	1.122	1.141	1.094	1.068	-163	1.162	1.164	1.123	1.079
-229	1.122	1.141	1.088	1.068	-162	1.162	1.164	1.134	1.09
-228	1.128	1.135	1.1	1.062	-161	1.162	1.17	1.128	1.085
-227	1.128	1.141	1.105	1.062	-160	1.162	1.17	1.134	1.09
-226	1.128	1.135	1.1	1.062	-159	1.173	1.175	1.14	1.096
-225	1.122	1.141	1.1	1.062	-158	1.173	1.175	1.14	1.096
-224	1.128	1.135	1.1	1.068	-157	1.179	1.181	1.14	1.096
-223	1.128	1.135	1.094	1.062	-156	1.168	1.175	1.145	1.102
-222	1.128	1.135	1.105	1.062	-155	1.162	1.187	1.151	1.096
-221	1.128	1.141	1.105	1.068	-154	1.179	1.181	1.145	1.113
-220	1.122	1.141	1.105	1.056	-153	1.168	1.215	1.145	1.119
-219	1.128	1.141	1.105	1.062	-152	1.19	1.192	1.151	1.113
-218	1.128	1.152	1.1	1.068	-151	1.196	1.209	1.168	1.142
-217	1.128	1.147	1.105	1.068	-150	1.213	1.227	1.168	1.136
-216	1.122	1.141	1.111	1.056	-149	1.219	1.209	1.185	1.113
-215	1.139	1.141	1.105	1.062	-148	1.219	1.232	1.18	1.136
-214	1.128	1.141	1.111	1.062	-147	1.219	1.227	1.191	1.147
-213	1.133	1.141	1.105	1.068	-146	1.242	1.232	1.191	1.153
-212	1.128	1.147	1.105	1.062	-145	1.236	1.232	1.197	1.153
-211	1.133	1.141	1.1	1.068	-144	1.23	1.249	1.202	1.165
-210	1.133	1.141	1.105	1.068	-143	1.248	1.232	1.214	1.159
-209	1.128	1.141	1.105	1.068	-142	1.248	1.261	1.225	1.176
-208	1.133	1.141	1.105	1.062	-141	1.265	1.272	1.225	1.176
-207	1.139	1.152	1.105	1.068	-140	1.27	1.278	1.225	1.187
-206	1.133	1.141	1.105	1.062	-139	1.265	1.278	1.242	1.199
-205	1.133	1.152	1.111	1.062	-138	1.287	1.284	1.248	1.204
-204	1.133	1.147	1.105	1.073	-137	1.305	1.295	1.254	1.199
-203	1.139	1.147	1.1	1.079	-136	1.299	1.306	1.265	1.21
-202	1.139	1.147	1.1	1.073	-135	1.316	1.312	1.271	1.222
-201	1.145	1.147	1.105	1.068	-134	1.316	1.341	1.276	1.222
-200	1.145	1.141	1.111	1.073	-133	1.322	1.341	1.294	1.239
-199	1.145	1.141	1.111	1.068	-132	1.35	1.335	1.299	1.244
-198	1.133	1.141	1.105	1.068	-131	1.344	1.352	1.311	1.25
-197	1.139	1.152	1.111	1.073	-130	1.356	1.363	1.316	1.273
-196	1.139	1.152	1.1	1.079	-129	1.373	1.375	1.328	1.284
-195	1.139	1.152	1.105	1.073	-128	1.39	1.38	1.339	1.279
-194	1.139	1.152	1.111	1.079	-127	1.396	1.403	1.345	1.301
-193	1.151	1.152	1.1	1.079	-126	1.407	1.398	1.356	1.313
-192	1.145	1.152	1.111	1.073	-125	1.419	1.42	1.368	1.313
-191	1.145	1.152	1.111	1.073	-124	1.436	1.426	1.385	1.336
-190	1.145	1.158	1.105	1.073	-123	1.441	1.449	1.396	1.341
-189	1.145	1.147	1.111	1.073	-122	1.453	1.466	1.408	1.358
-188	1.139	1.147	1.111	1.085	-121	1.47	1.472	1.413	1.37
-187	1.151	1.152	1.105	1.079	-120	1.493	1.477	1.43	1.381
-186	1.145	1.147	1.111	1.079	-119	1.504	1.506	1.442	1.387
-185	1.151	1.158	1.105	1.079	-118	1.515	1.512	1.465	1.415
-184	1.145	1.152	1.111	1.079	-117	1.527	1.529	1.476	1.421
-183	1.145	1.147	1.117	1.073	-116	1.55	1.551	1.487	1.438
-182	1.151	1.152	1.105	1.079	-115	1.567	1.563	1.51	1.461
-181	1.145	1.152	1.111	1.079	-114	1.578	1.574	1.527	1.467
-180	1.145	1.152	1.117	1.085	-113	1.595	1.597	1.544	1.484
-179	1.145	1.152	1.111	1.073	-112	1.618	1.608	1.561	1.512
-178	1.151	1.152	1.105	1.079	-111	1.624	1.631	1.579	1.518
-177	1.151	1.152	1.117	1.073	-110	1.652	1.654	1.596	1.541
-176	1.151	1.158	1.117	1.079	-109	1.675	1.671	1.618	1.558
-175	1.151	1.152	1.117	1.079	-108	1.692	1.694	1.636	1.575
-174	1.145	1.152	1.111	1.085	-107	1.721	1.711	1.653	1.592
-173	1.139	1.158	1.111	1.085	-106	1.738	1.734	1.681	1.621
-172	1.145	1.141	1.117	1.079	-105	1.755	1.768	1.698	1.638

-104	1.783	1.785	1.721	1.661	-37	9.907	9.795	9.4	9.055
-103	1.8	1.808	1.75	1.683	-36	10.306	10.171	9.793	9.414
-102	1.835	1.831	1.767	1.706	-35	10.711	10.582	10.181	9.796
-101	1.863	1.859	1.795	1.729	-34	11.144	11.026	10.586	10.178
-100	1.886	1.894	1.818	1.752	-33	11.606	11.471	11.025	10.588
-99	1.914	1.911	1.847	1.78	-32	12.073	11.95	11.481	11.021
-98	1.949	1.945	1.881	1.809	-31	12.592	12.44	11.96	11.483
-97	1.972	1.973	1.909	1.837	-30	13.1	12.959	12.456	11.968
-96	2.006	2.008	1.926	1.86	-29	13.664	13.506	12.975	12.469
-95	2.046	2.03	1.966	1.894	-28	14.194	14.082	13.51	12.982
-94	2.074	2.07	1.995	1.928	-27	14.844	14.675	14.086	13.507
-93	2.108	2.11	2.035	1.951	-26	15.454	15.29	14.668	14.083
-92	2.137	2.133	2.069	1.997	-25	16.092	15.9	15.272	14.67
-91	2.188	2.173	2.097	2.014	-24	16.725	16.567	15.905	15.286
-90	2.217	2.213	2.137	2.06	-23	17.404	17.263	16.56	15.913
-89	2.257	2.247	2.171	2.1	-22	18.111	17.958	17.21	16.568
-88	2.302	2.293	2.223	2.134	-21	18.852	18.694	17.917	17.224
-87	2.348	2.332	2.257	2.168	-20	19.581	19.418	18.596	17.948
-86	2.388	2.384	2.297	2.219	-19	20.357	20.193	19.342	18.649
-85	2.439	2.435	2.342	2.253	-18	21.109	20.968	20.066	19.39
-84	2.485	2.475	2.388	2.299	-17	21.845	21.755	20.825	20.126
-83	2.542	2.526	2.434	2.356	-16	22.637	22.548	21.588	20.889
-82	2.581	2.583	2.479	2.396	-15	23.384	23.329	22.324	21.625
-81	2.644	2.629	2.531	2.442	-14	24.125	24.098	23.071	22.372
-80	2.684	2.68	2.582	2.499	-13	24.838	24.856	23.783	23.107
-79	2.758	2.743	2.639	2.55	-12	25.59	25.586	24.479	23.842
-78	2.821	2.794	2.707	2.607	-11	26.291	26.344	25.214	24.527
-77	2.878	2.863	2.764	2.67	-10	26.941	27.04	25.887	25.581
-76	2.946	2.931	2.827	2.727	-9	27.568	27.701	26.503	26.208
-75	3.003	2.988	2.89	2.789	-8	28.121	28.317	27.113	26.807
-74	3.089	3.062	2.958	2.852	-7	28.623	28.847	27.648	27.337
-73	3.157	3.136	3.027	2.926	-6	28.976	29.332	28.087	27.827
-72	3.237	3.216	3.095	2.989	-5	29.204	29.651	28.395	28.158
-71	3.317	3.302	3.181	3.063	-4	29.546	29.896	28.851	28.363
-70	3.397	3.37	3.26	3.143	-3	32.673	30.745	31.023	28.722
-69	3.482	3.461	3.34	3.217	-2	41.451	35.5	36.262	30.324
-68	3.579	3.547	3.426	3.302	-1	45.999	40.471	40.528	36.373
-67	3.676	3.649	3.523	3.388	0	48.021	41.343	44.091	39.902
-66	3.762	3.741	3.614	3.479	1	50.054	47.86	49.763	37.758
-65	3.864	3.843	3.705	3.576	2	57.52	56.169	51.238	35.6
-64	3.984	3.952	3.813	3.673	3	55.071	55.451	55.099	38.957
-63	4.092	4.06	3.922	3.77	4	59.38	57.525	56.673	40.383
-62	4.206	4.18	4.019	3.884	5	57.119	60.436	59.669	47.652
-61	4.332	4.299	4.15	3.998	6	61.401	59.919	58.24	51.235
-60	4.451	4.425	4.269	4.112	7	63.327	62.543	61.572	49.048
-59	4.6	4.562	4.395	4.232	8	65.245	63.869	62.941	59.823
-58	4.748	4.693	4.526	4.363	9	64.057	61.052	60.333	57.098
-57	4.89	4.847	4.663	4.505	10	60.39	56.025	55.296	56.337
-56	5.039	4.995	4.805	4.636	11	63.958	59.867	58.639	51.875
-55	5.192	5.149	4.965	4.785	12	58.081	54.481	54.112	48.11
-54	5.363	5.314	5.124	4.939	13	55.934	52.324	49.306	47.184
-53	5.54	5.496	5.278	5.092	14	53.298	49.269	47.906	41.33
-52	5.734	5.667	5.455	5.263	15	52.526	45.949	46.036	46.176
-51	5.922	5.873	5.638	5.446	16	52.227	42.831	42.299	44.992
-50	6.127	6.067	5.831	5.623	17	48.496	43.561	40.409	40.296
-49	6.344	6.283	6.031	5.822	18	44.572	42.632	39.895	38.92
-48	6.566	6.454	6.242	6.039	19	42.842	39.234	38.441	35.484
-47	6.812	6.739	6.47	6.244	20	41.116	37.182	36.533	33.954
-46	7.057	6.984	6.704	6.466	21	40.107	36.532	36.444	28.095
-45	7.307	7.235	6.949	6.711	22	37.308	36.857	35.095	27.043
-44	7.575	7.503	7.205	6.951	23	35.124	35.705	33.818	26.194
-43	7.86	7.782	7.479	7.196	24	34.044	33.299	30.499	24.96
-42	8.151	8.079	7.753	7.481	25	33.366	30.877	29.581	24.852
-41	8.482	8.364	8.043	7.76	26	32.397	30.335	27.688	23.432
-40	8.812	8.706	8.374	8.051	27	30.327	30.113	26.309	21.955
-39	9.149	9.048	8.699	8.37	28	28.868	29.029	25.893	21.021
-38	9.531	9.407	9.035	8.707	29	28.013	27.274	25.311	20.439

30	27.289	25.563	23.863	20.16	97	4.383	4.18	3.648	2.989
31	26.576	25.136	22.484	19.573	98	4.297	4.128	3.574	2.938
32	25.1	24.993	21.988	18.392	99	4.246	4.06	3.511	2.892
33	23.686	24.452	21.44	17.269	100	4.178	3.986	3.454	2.846
34	22.865	23.243	20.551	16.528	101	4.138	3.934	3.426	2.801
35	22.637	22.04	19.274	16.152	102	4.081	3.866	3.369	2.767
36	22.135	20.883	18.55	15.821	103	4.018	3.82	3.323	2.709
37	21.121	20.256	18.128	15.303	104	3.955	3.786	3.277	2.687
38	20.02	19.988	17.678	14.453	105	3.893	3.735	3.232	2.63
39	18.994	19.31	16.657	13.752	106	3.836	3.689	3.175	2.618
40	18.361	18.272	15.922	13.131	107	3.801	3.632	3.146	2.567
41	18.048	17.491	15.363	12.851	108	3.756	3.57	3.112	2.544
42	17.54	16.773	15.027	12.555	109	3.727	3.53	3.061	2.493
43	16.6	16.334	14.616	12.087	110	3.682	3.49	3.021	2.476
44	15.933	15.855	13.824	11.665	111	3.619	3.456	2.987	2.424
45	15.323	15.365	13.254	11.13	112	3.573	3.427	2.958	2.413
46	14.855	14.601	12.855	10.52	113	3.528	3.376	2.924	2.373
47	14.61	13.763	12.53	10.32	114	3.494	3.342	2.89	2.362
48	14.394	13.392	12.125	10.018	115	3.465	3.296	2.856	2.322
49	13.744	13.13	11.612	9.761	116	3.425	3.262	2.816	2.31
50	13.1	12.873	11.145	9.528	117	3.397	3.222	2.793	2.265
51	12.581	12.554	10.86	9.009	118	3.368	3.205	2.764	2.259
52	12.227	11.933	10.592	8.712	119	3.317	3.176	2.742	2.219
53	11.988	11.374	10.238	8.342	120	3.288	3.142	2.707	2.208
54	11.754	11.038	9.822	8.154	121	3.248	3.108	2.685	2.185
55	11.401	10.633	9.486	8.023	122	3.226	3.079	2.662	2.174
56	10.825	10.604	9.24	7.703	123	3.197	3.045	2.628	2.151
57	10.511	10.314	9.018	7.584	124	3.174	3.011	2.599	2.122
58	10.129	9.96	8.773	7.162	125	3.152	2.994	2.593	2.105
59	10.027	9.567	8.454	6.997	126	3.112	2.971	2.559	2.082
60	9.793	9.248	8.146	6.763	127	3.089	2.948	2.542	2.06
61	9.508	8.997	7.929	6.569	128	3.06	2.925	2.514	2.048
62	9.166	8.792	7.764	6.535	129	3.038	2.903	2.496	2.043
63	8.864	8.581	7.604	6.255	130	3.02	2.874	2.474	2.02
64	8.613	8.358	7.336	6.176	131	3.003	2.846	2.468	2.014
65	8.425	8.187	7.091	5.868	132	2.975	2.828	2.439	1.991
66	8.254	7.822	6.886	5.72	133	2.952	2.811	2.422	1.974
67	8.1	7.594	6.766	5.583	134	2.929	2.789	2.4	1.957
68	7.866	7.486	6.635	5.4	135	2.906	2.777	2.388	1.946
69	7.632	7.378	6.43	5.377	136	2.884	2.749	2.365	1.928
70	7.376	7.138	6.225	5.161	137	2.872	2.737	2.354	1.923
71	7.222	6.979	6.082	5.127	138	2.855	2.714	2.331	1.906
72	7.079	6.819	5.957	4.887	139	2.844	2.703	2.32	1.9
73	6.965	6.591	5.831	4.802	140	2.815	2.686	2.314	1.877
74	6.812	6.414	5.7	4.659	141	2.804	2.669	2.297	1.871
75	6.675	6.363	5.558	4.568	142	2.781	2.652	2.28	1.854
76	6.452	6.203	5.41	4.511	143	2.77	2.646	2.274	1.854
77	6.321	6.067	5.267	4.368	144	2.758	2.629	2.257	1.832
78	6.173	5.941	5.17	4.323	145	2.741	2.606	2.246	1.832
79	6.042	5.781	5.102	4.146	146	2.735	2.6	2.234	1.809
80	5.979	5.616	4.988	4.112	147	2.724	2.578	2.217	1.814
81	5.842	5.559	4.845	3.964	148	2.696	2.572	2.211	1.792
82	5.723	5.422	4.748	3.941	149	2.678	2.561	2.206	1.792
83	5.574	5.365	4.668	3.838	150	2.667	2.543	2.177	1.775
84	5.449	5.263	4.583	3.787	151	2.639	2.538	2.16	1.763
85	5.346	5.132	4.492	3.719	152	2.621	2.498	2.143	1.763
86	5.267	5.04	4.4	3.616	153	2.593	2.481	2.132	1.746
87	5.198	4.915	4.309	3.565	154	2.57	2.464	2.109	1.718
88	5.107	4.847	4.212	3.445	155	2.547	2.424	2.08	1.723
89	5.016	4.778	4.155	3.439	156	2.507	2.412	2.057	1.695
90	4.902	4.681	4.098	3.325	157	2.479	2.39	2.023	1.678
91	4.816	4.653	4.024	3.342	158	2.456	2.344	2	1.661
92	4.725	4.527	3.939	3.223	159	2.416	2.321	1.983	1.638
93	4.662	4.459	3.87	3.211	160	2.382	2.293	1.943	1.621
94	4.617	4.379	3.813	3.109	161	2.336	2.253	1.909	1.598
95	4.531	4.288	3.745	3.091	162	2.291	2.213	1.875	1.581
96	4.463	4.254	3.699	3.006	163	2.245	2.179	1.829	1.547

164	2.205	2.127	1.807	1.541	231	1.248	1.249	1.151	1.147
165	2.154	2.099	1.772	1.507	232	1.236	1.255	1.145	1.147
166	2.12	2.053	1.727	1.49	233	1.259	1.249	1.151	1.147
167	2.074	2.013	1.693	1.467	234	1.248	1.255	1.145	1.153
168	2.017	1.979	1.658	1.444	235	1.236	1.255	1.151	1.147
169	1.983	1.922	1.613	1.427	236	1.248	1.255	1.14	1.159
170	1.932	1.894	1.573	1.393	237	1.242	1.244	1.14	1.165
171	1.897	1.854	1.55	1.376	238	1.236	1.261	1.151	1.159
172	1.823	1.802	1.51	1.358	239	1.242	1.244	1.145	1.165
173	1.812	1.78	1.47	1.341	240	1.225	1.255	1.14	1.17
174	1.795	1.734	1.442	1.313	241	1.248	1.244	1.14	1.17
175	1.743	1.688	1.442	1.301	242	1.236	1.244	1.14	1.17
176	1.686	1.666	1.408	1.279	243	1.236	1.255	1.145	1.17
177	1.675	1.631	1.373	1.273	244	1.23	1.238	1.14	1.176
178	1.658	1.608	1.356	1.25	245	1.236	1.244	1.145	1.17
179	1.584	1.591	1.345	1.233	246	1.242	1.244	1.151	1.17
180	1.59	1.54	1.351	1.239	247	1.236	1.232	1.157	1.182
181	1.572	1.54	1.328	1.222	248	1.23	1.244	1.157	1.182
182	1.51	1.512	1.305	1.204	249	1.225	1.238	1.151	1.17
183	1.527	1.506	1.294	1.193	250	1.236	1.232	1.157	1.182
184	1.476	1.472	1.288	1.21	251	1.219	1.232	1.157	1.176
185	1.493	1.466	1.299	1.193	252	1.219	1.238	1.162	1.182
186	1.436	1.443	1.288	1.199	253	1.225	1.232	1.157	1.182
187	1.453	1.437	1.265	1.176	254	1.23	1.238	1.157	1.182
188	1.441	1.443	1.276	1.176	255	1.23	1.238	1.157	1.182
189	1.43	1.42	1.276	1.182	256	1.225	1.232	1.157	1.182
190	1.424	1.403	1.271	1.17	257	1.225	1.238	1.162	1.182
191	1.424	1.415	1.276	1.199	258	1.219	1.238	1.162	1.182
192	1.419	1.392	1.271	1.17	259	1.242	1.238	1.162	1.182
193	1.436	1.386	1.265	1.187	260	1.225	1.244	1.162	1.182
194	1.384	1.392	1.254	1.17	261	1.23	1.238	1.162	1.187
195	1.413	1.38	1.265	1.187	262	1.219	1.244	1.168	1.182
196	1.401	1.386	1.254	1.17	263	1.23	1.238	1.168	1.187
197	1.39	1.375	1.242	1.182	264	1.219	1.244	1.168	1.193
198	1.401	1.38	1.242	1.182	265	1.23	1.244	1.168	1.193
199	1.367	1.369	1.237	1.182	266	1.248	1.244	1.162	1.199
200	1.396	1.386	1.225	1.193	267	1.23	1.244	1.168	1.193
201	1.367	1.358	1.219	1.17	268	1.23	1.249	1.18	1.204
202	1.373	1.375	1.214	1.182	269	1.242	1.255	1.18	1.199
203	1.367	1.358	1.214	1.176	270	1.236	1.249	1.168	1.204
204	1.379	1.352	1.197	1.182	271	1.23	1.255	1.18	1.204
205	1.35	1.352	1.197	1.187	272	1.242	1.255	1.18	1.216
206	1.362	1.346	1.191	1.187	273	1.236	1.255	1.185	1.216
207	1.339	1.341	1.191	1.17	274	1.248	1.249	1.185	1.21
208	1.356	1.335	1.191	1.182	275	1.23	1.255	1.185	1.222
209	1.333	1.341	1.191	1.176	276	1.242	1.266	1.18	1.222
210	1.322	1.323	1.18	1.165	277	1.236	1.255	1.185	1.222
211	1.339	1.335	1.18	1.176	278	1.248	1.255	1.191	1.227
212	1.299	1.306	1.168	1.159	279	1.236	1.261	1.191	1.233
213	1.333	1.318	1.168	1.165	280	1.242	1.261	1.191	1.227
214	1.299	1.295	1.168	1.159	281	1.242	1.255	1.185	1.239
215	1.322	1.301	1.162	1.159	282	1.242	1.261	1.197	1.239
216	1.282	1.301	1.174	1.153	283	1.242	1.261	1.197	1.239
217	1.293	1.284	1.157	1.153	284	1.242	1.266	1.197	1.239
218	1.276	1.289	1.162	1.147	285	1.248	1.266	1.197	1.239
219	1.265	1.278	1.162	1.142	286	1.248	1.266	1.197	1.244
220	1.276	1.272	1.168	1.147	287	1.248	1.266	1.197	1.244
221	1.265	1.272	1.162	1.142	288	1.248	1.266	1.202	1.239
222	1.27	1.266	1.157	1.142	289	1.248	1.266	1.208	1.244
223	1.259	1.261	1.168	1.142	290	1.259	1.266	1.202	1.244
224	1.248	1.266	1.162	1.142	291	1.253	1.266	1.208	1.256
225	1.253	1.255	1.157	1.142	292	1.253	1.266	1.202	1.25
226	1.253	1.255	1.162	1.147	293	1.259	1.272	1.214	1.25
227	1.259	1.266	1.157	1.142	294	1.253	1.272	1.208	1.25
228	1.242	1.244	1.157	1.147	295	1.253	1.266	1.208	1.244
229	1.253	1.255	1.157	1.147	296	1.265	1.278	1.214	1.25
230	1.242	1.255	1.151	1.136	297	1.259	1.272	1.208	1.256

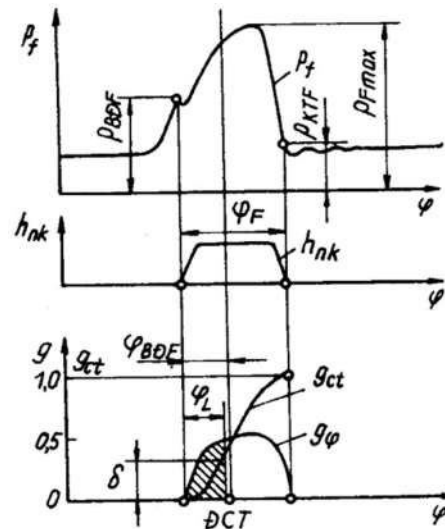
298	1.253	1.289	1.225	1.244
299	1.265	1.278	1.219	1.261
300	1.253	1.278	1.225	1.261
301	1.259	1.284	1.208	1.256
302	1.259	1.284	1.202	1.25
303	1.242	1.255	1.202	1.244
304	1.23	1.261	1.208	1.227
305	1.242	1.249	1.208	1.233
306	1.213	1.244	1.191	1.233
307	1.219	1.255	1.18	1.21
308	1.225	1.238	1.18	1.222
309	1.196	1.238	1.185	1.21
310	1.208	1.232	1.174	1.187
311	1.19	1.215	1.168	1.199
312	1.19	1.221	1.157	1.176
313	1.185	1.192	1.157	1.17
314	1.173	1.187	1.168	1.165
315	1.179	1.192	1.168	1.153
316	1.185	1.181	1.157	1.147
317	1.173	1.181	1.151	1.153
318	1.173	1.187	1.145	1.147
319	1.179	1.187	1.157	1.142
320	1.162	1.187	1.151	1.142
321	1.168	1.187	1.145	1.136
322	1.168	1.17	1.128	1.136
323	1.162	1.175	1.128	1.13
324	1.162	1.17	1.134	1.136
325	1.151	1.164	1.128	1.125
326	1.156	1.17	1.128	1.13
327	1.139	1.158	1.117	1.119
328	1.139	1.158	1.111	1.119
329	1.133	1.152	1.111	1.113
330	1.128	1.135	1.111	1.102
331	1.133	1.147	1.111	1.096
332	1.128	1.147	1.105	1.096
333	1.128	1.13	1.111	1.09
334	1.128	1.141	1.1	1.096
335	1.122	1.135	1.105	1.085
336	1.122	1.13	1.111	1.085
337	1.111	1.124	1.111	1.073
338	1.122	1.118	1.111	1.062
339	1.116	1.118	1.1	1.062
340	1.122	1.13	1.105	1.068
341	1.111	1.13	1.1	1.062
342	1.111	1.124	1.105	1.056
343	1.105	1.124	1.111	1.062
344	1.116	1.118	1.1	1.056
345	1.116	1.124	1.105	1.051
346	1.128	1.13	1.1	1.056
347	1.116	1.13	1.105	1.056
348	1.116	1.135	1.105	1.056
349	1.111	1.13	1.105	1.056
350	1.105	1.124	1.105	1.056
351	1.105	1.118	1.105	1.056
352	1.105	1.113	1.111	1.056
353	1.116	1.113	1.111	1.045
354	1.116	1.13	1.111	1.051
355	1.111	1.118	1.111	1.056
356	1.111	1.118	1.105	1.051
357	1.111	1.118	1.1	1.056
358	1.116	1.118	1.1	1.045
359	1.116	1.124	1.105	1.051

PHỤ LỤC 4

ÁP SUẤT PHUN NHIÊN LIỆU

Trong thời gian cấp, nhiên liệu được dẫn đến VP theo đường ống cao áp và các lỗ dẫn, sau đó được đưa vào khoang đầu phun, áp suất nhiên liệu tác động lên mặt côn kim tạo ra lực nâng nâng kim phun lên thắng lực nén lò xo. Lực nâng tỷ lệ với áp suất nhiên liệu và diện tích bề mặt côn. Khi lực này lớn hơn lực nén của lò xo VP thì kim phun được nâng lên và nhiên liệu được phun vào xi lanh. Áp suất nâng kim phun được điều chỉnh bằng vít khi cân VP trên bệ thử. Áp suất này được giữ không đổi ở các chế độ làm việc của động cơ. Vị trí của vít điều chỉnh được cố định bởi ê-cu (Hình 1.3, 1.4).

Với động cơ tàu thủy có buồng cháy thống nhất áp suất nâng kim phun khoảng 200-400 bar (của động cơ Hanshin 6LU32 là 280 bar). Sau khi nâng kim phun áp suất nhiên liệu trước các lỗ phun tăng lên tương ứng với các đặc tính thay đổi tốc độ piston BCA và đạt tới giá trị cực đại 400-1300 bar. Với động cơ Hanshin 6LU32 theo tài liệu hướng dẫn khai thác $p_{fmax}=2,8$ lần áp suất nâng kim phun (784 bar). Dựa vào công thức (2.39) ở mục 2.2.3 chương 2 có thể cho phép tính toán ASP lớn nhất và luận án đã tính cho động cơ Hanshin 6LU32 là bằng $p_{fmax}=800$ bar. Sau khi phun áp suất nhiên liệu giảm xuống, kim đóng kín để dưới tác dụng của lò xo [11].



Hình 1. Đặc tính phun nhiên liệu

Để đạt được sự làm việc tin cậy, kinh tế của động cơ cần phải đảm bảo phun vào xi lanh lượng nhiên liệu cấp cho chu trình với GPS đã cho và phun sương. Một trong các yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến chất lượng phun nhiên liệu là áp suất của nhiên liệu trước VP gọi là ASP. Đối với hệ thống phun trực tiếp, trong quá trình phun, ASP thay đổi trong giới hạn rộng và thay đổi theo chế độ làm việc của động cơ. Chất lượng phun nhiên liệu cũng thay đổi tương ứng.

Đặc tính thay đổi ASP p_f phụ thuộc GQTK. Đối với động cơ diesel tàu thủy ASP thay đổi trong khoảng 200÷1000 bar. Khi chế tạo động cơ có hành trình piston lớn có xu hướng tăng ASP đến 1300 bar với mục đích rút ngắn thời kỳ phun và cải thiện chất lượng phun nhiên liệu, điều đó đảm bảo tăng tính kinh tế động cơ. Thời gian phun được xác định bởi thời điểm mở và đóng kim phun (đường h_{nk}). Thời gian phun đối với động cơ tàu thủy khoảng $\varphi_f=20\div40^0$ GQTK.

Với các động cơ tàu thủy có vòng quay làm việc thay đổi trong khoảng rộng thì vòng quay có ảnh hưởng lớn đến ASP, vòng quay giảm thì ASP cũng giảm. Đó là một trong những nguyên nhân làm giảm tính kinh tế và làm xấu tính ổn định khi động cơ làm việc với vòng quay nhỏ. Vì thế VP hờ không được trang bị cho các động cơ chính tàu thủy. Ở các động cơ có lắp VP kín thì ASP nhỏ nhất phụ thuộc vào áp suất nâng kim phun. ASP được điều chỉnh sao cho chất lượng phun ứng với vòng quay nhỏ nhất vẫn đảm bảo sự làm việc ổn định của động cơ.

Để nghiên cứu ảnh hưởng các yếu tố kết cấu và khai thác đến quá trình cấp nhiên liệu, trong đó có cả ASP nhiên liệu, khi thiết kế và mô hình hóa thiết bị nhiên liệu người ta dùng phương pháp tính toán thủy động học (phương pháp do giáo sư Phô-min thiết kế), phương pháp này tính đến cả độ nhớt, độ nén nhiên liệu, thể tích, chiều dài đường ống cao áp, sự rò rỉ nhiên liệu trong BCA và VP, ảnh hưởng của sóng áp suất phản xạ đến đặc tính thay đổi áp suất ở các tiết diện khác nhau trên chiều dài đường ống cao áp.

Các đặc tính điều chỉnh xem xét trên cho phép xác định thời điểm cấp nhiên liệu của BCA. Các thời điểm phun nhiên liệu thực tế phụ thuộc vào tính chất thủy động lực học của hệ thống như độ nhớt, tính chịu nén của nhiên liệu, chiều dài và độ co giãn đường ống cao áp, sự rò rỉ nhiên liệu trong BCA và VP ảnh hưởng đến các thông số làm việc thực tế của HTPNL. Hành trình nén của piston là nhiễu loạn, sự nhiễu loạn này ở dạng sóng áp suất lan truyền trong nhiên liệu giống như trong môi trường đàn hồi với tốc độ âm thanh, tốc độ này phụ thuộc vào tính chịu nén và mật độ nhiên liệu, trung bình khoảng 1450 m/s. Sóng áp suất truyền tới VP muộn hơn so với thời điểm bắt đầu cấp nhiên liệu của BCA [11].

PHỤ LỤC 5

CÁC MÔ HÌNH CHÁY TRONG MÔ PHÒNG SỔ

1. Các mô hình cháy trong Fluent

1.1. Mô hình cháy không trộn lẫn trước

Đối với sự cháy không trộn trước, nhiên liệu và chất oxy hóa đi vào khu vực phản ứng theo những luồng riêng biệt. Điều đó trái ngược với hệ thống trộn lẫn trước mà các chất phản ứng được hòa trộn với nhau ở cấp độ phân tử trước khi đốt cháy. Các mẫu của sự cháy không trộn trước bao gồm cả lò đốt than nghiền, động cơ diesel đốt trong. Với một số giả định, nhiệt hóa học chỉ có một thông số duy nhất: tỷ lệ trộn. Tỷ lệ trộn được ký hiệu là f là tỷ lệ khối lượng bắt nguồn từ luồng nhiên liệu. Nói cách khác, đó là tỷ lệ khối lượng cục bộ của các phân tử nhiên liệu đốt cháy và không đốt cháy ($C, H, \dots$) trong tất cả các chất ($CO_2, H_2O, O_2, \dots$). Sự tiếp cận này rất tinh tế về các phân tử ở cấp độ nguyên tử bảo tồn trong phản ứng hóa học. Tỷ lệ trộn cũng là một đại lượng vô hướng bảo toàn, do đó phương trình chi phối sự vận chuyển không có số hạng nguồn. Sự cháy được đơn giản hóa như là vấn đề trộn lẫn. Những khó khăn kết hợp với tốc độ phản ứng trung bình không tuyến tính khép kín được loại bỏ. Mỗi lần trộn lẫn, hóa học sẽ được mô hình là cân bằng hóa học với mô hình Equilibrium, hoặc với mô hình flamelet gần cân bằng hóa học với mô hình Steady Laminar Flamelet hoặc chệch đáng kể khỏi cân bằng hóa học với mô hình Unsteady Laminar Flamelet [48].

1.1.1. Giới thiệu

Mô hình không trộn lẫn trước bao gồm lời giải các phương trình vận chuyển cho 1 hoặc 2 số vô hướng (các tỷ lệ trộn). Các phương trình cho từng chất riêng biệt không được giải. Để thay thế, nồng độ các chất được lấy từ các trường dự báo tỷ lệ trộn. Các tính toán nhiệt hóa học được tiền xử lý và tính toán và trình bày thành bảng để tra cứu trong Fluent. Tương tác rối hóa học được giải thích với một hàm mật độ thống kê (PDF) có hình dạng giả định trước.

Sự tiếp cận mô hình không trộn lẫn trước được phát triển đặc biệt cho việc mô phỏng ngọn lửa khuếch tán rối, quá trình hóa học nhanh. Với hệ thống này, phương pháp cung cấp nhiều lợi ích trên công thức eddy-dissipation. Mô hình không trộn lẫn trước cho phép dự đoán các chất trung gian, các hiệu ứng phân ly và sự liên kết rối hóa chặt chẽ. Hiệu quả tính toán của phương pháp là ở chỗ nó không đòi hỏi việc giải một số lượng lớn các phương trình vận chuyển của các chất. Khi các giả định cơ sở đã vững chắc, tiếp cận không trộn trước sử dụng công thức eddy-dissipation[48].

1.1.2. Sự cháy không trộn trước và lý thuyết tỷ lệ trộn

* Định nghĩa tỷ lệ trộn:

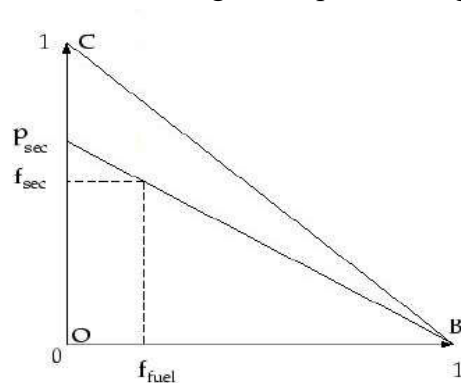
Nền tảng của sự tiếp cận mô hình không trộn lẫn trước như sau: dưới một số giả định đơn giản hóa, trạng thái nhiệt hóa học tức thời của chất lưu gắn liền với một số vô hướng là tỷ lệ trộn f . Tỷ lệ trộn có thể được viết theo các số hạng tỷ lệ khối lượng nguyên tử như sau:

$$f = \frac{Z_i - Z_{i,ox}}{Z_{i,fuel} - Z_{i,ox}} \quad (1.1)$$

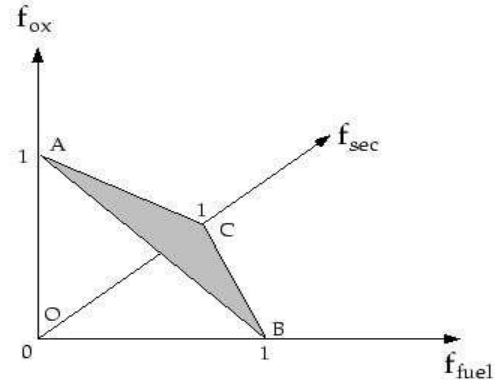
Với Z_i là tỷ lệ khối lượng của phân tử i , ox là ký hiệu chỉ ở lõi vào của luồng chất oxy hóa, $fuel$ là ký hiệu chỉ ở lõi vào của luồng nhiên liệu. Nếu hệ số khuếch tán của tất cả các chất như nhau thì phương trình (1.1) đồng nhất cho tất cả các phân tử và tỷ lệ trộn được định nghĩa là duy nhất. Tỷ lệ trộn do đó là thành phần khối lượng phân tử bắt nguồn từ luồng nhiên liệu. Nếu bao gồm cả một luồng thứ cấp (luồng nhiên liệu hoặc chất oxy hóa khác, hoặc luồng không phản ứng), các tỷ lệ trộn nhiên liệu và thứ cấp đơn giản là tỷ lệ trộn khối lượng phân tử của luồng nhiên liệu và luồng thứ cấp. Tổng của tất cả 3 tỷ lệ trộn trong hệ thống (nhiên liệu, dòng thứ cấp và chất oxy hóa) luôn luôn bằng 1.

$$f_{fuel} + f_{sec} + f_{ox} = 1 \quad (1.2)$$

Điều đó chỉ ra rằng chỉ các điểm trên mặt phẳng ABC trong không gian tỷ lệ trộn là hợp thức. Do đó 2 tỷ lệ trộn: f_{fuel} và f_{sec} không thể biến đổi một cách độc lập. Giá trị của chúng chỉ hợp thức cùng với tam giác OBC trên hình 1.1.



Hình 1.2. Tam giác tỷ lệ trộn



Hình 1.2. Tỷ lệ trộn nhiên liệu và tỷ lệ trộn thứ cấp

Fluent rời rạc tam giác OBC như trên Hình 1.2. Về cơ bản, tỷ lệ trộn sơ cấp f_{fuel} có thể biến thiên từ 0 đến 1, cho trường hợp chỉ có một tỷ lệ trộn còn tỷ lệ trộn thứ cấp nằm trên đường thẳng có phương trình như sau:

$$f_{\text{sec}} = p_{\text{sec}} \times (1 - f_{\text{fuel}}) \quad (1.3)$$

Với p_{sec} là tỷ lệ trộn thứ cấp hiệu chuẩn và là giá trị của điểm giao giữa đường thẳng trên và trục tỷ lệ trộn thứ cấp. Khác với f_{sec} , p_{sec} có thể biến thiên từ 0 đến 1 không phụ thuộc vào f_{fuel} . Một đặc tính quan trọng của p_{sec} là nó được giả định độc lập thống kê với tỷ lệ trộn nhiên liệu. Khác với f_{sec} , p_{sec} không phải là một vô hướng bảo toàn. Tỷ lệ trộn thường hóa cho giá trị vô hướng thứ hai được sử dụng ở mọi chỗ trừ khi định nghĩa một luồng nhiên liệu thứ cấp dùng số hạng f_{sec} .

* *Phương trình vận chuyển cho tỷ lệ trộn*

Với giả thiết khuếch tán cân bằng, phương trình các chất chỉ còn là một phương trình của tỷ lệ trộn. Số hạng nguồn phản ứng trong các phương trình của các chất bị loại bỏ và f trở thành số hạng bảo toàn. Khi giả định các hệ số khuếch tán bằng nhau vẫn còn khó giải quyết đối với dòng tầng thì nó được chấp nhận trong dòng rối nơi có sự đối lưu rối lẫn át sự khuếch tán phân tử. Phương trình tỷ lệ rối trung bình Favre (mật độ trung bình) như sau:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \bar{f}) + \text{div}(\rho \bar{v} \bar{f}) = \text{div}\left(\frac{\mu_t}{\sigma_t} \text{grad}(\bar{f})\right) + S_m + S_{\text{user}} \quad (1.4)$$

Số hạng nguồn S_m là do sự vận chuyển khối lượng vào trong pha khí từ nhiên liệu lỏng nhỏ giọt hoặc các phản phản ứng. S_{user} là số hạng nguồn do người dùng định nghĩa. Bổ sung cho việc giải phương trình trộn trung bình Favre, Fluent giải một phương trình bảo toàn cho sự dao động của tỷ lệ trộn $\bar{f}'^2$:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \bar{f}'^2) + \text{div}(\rho \bar{v} \bar{f}'^2) = \text{div}\left(\frac{\mu_t}{\sigma_t} \text{grad}(\bar{f}'^2)\right) + C_g \mu_t (\text{grad}(\bar{f}))^2 - C_d \rho \frac{\epsilon}{k} \bar{f}'^2 + S_{\text{user}} \quad (1.5)$$

Với $f' = f - \bar{f}$. Giá trị mặc định của các hằng số σ_t , C_g và C_d là 0.85, 2.86 và 2.0 còn S_{user} là số hạng nguồn do người dùng định nghĩa. Sự dao động của tỷ lệ trộn được sử dụng để khép kín mô hình mô tả tương tác rối, hóa học. Đối với bài toán 2 tỷ lệ trộn, $\bar{f}_{\text{fuel}}$ và $\bar{f}_{\text{fuel}}'^2$ được tính từ phương trình 1.4 và 1.5 bằng cách thay thế $\bar{f}_{\text{fuel}}$ cho $\bar{f}$ và $\bar{f}_{\text{fuel}}'^2$ cho $\bar{f}'^2$. $\bar{f}_{\text{sec}}$ tính được từ phương trình 1.4 bằng cách thay thế $\bar{f}_{\text{fuel}}$ cho $\bar{f}$. Sau đó ta tìm được $\bar{p}_{\text{sec}}$ theo phương trình 1.3 và $\bar{p}_{\text{sec}}'^2$ tính được từ phương trình 1.4 bằng cách thay thế $\bar{p}_{\text{sec}}$ cho $\bar{f}$. Phương trình cho $\bar{p}_{\text{sec}}'^2$ và $\bar{f}_{\text{sec}}'^2$ chỉ hợp thức khi tốc độ lưu lượng dòng thứ cấp tương đối nhỏ so với tốc độ lưu lượng tổng thể.

* Mô hình không trộn trước cho LES (Large Eddy Simulation)

Một phương trình vận chuyển không được giải cho sự dao động của tỷ lệ trộn, thay vào đó nó được mô hình như sau: $\overline{f'^2} = C_{var} L_s^2 \left| grad(\overline{f}) \right|^2$ (1.6)

Với C_{var} : hằng số, L_s : subgrid length scale.

Hằng số C_{var} được tính toán động lực học khi sử dụng option Dynamic stress trên bảng Viscous hoặc sử dụng một giá trị hằng số (mặc định là 0.5).

* Tỷ lệ trộn và hệ số cân bằng:

Định nghĩa tỷ lệ trộn có thể được hiểu thông qua quan hệ với một số đại lượng thông thường của phản ứng. Xét một hệ thống cháy đơn giản bao gồm một luồng nhiên liệu (F), một luồng chất oxy hóa (O) và một luồng sản phẩm(P):



Với r là tỷ lệ nhiên liệu và không khí trên một khối lượng cơ bản. Ký hiệu Φ là hệ số tương đương với:

$$\Phi = \frac{(fuel / air)_{actual}}{(fuel / air)_{stoichiometric}} \quad (1.8)$$

Phương trình 1.7 có thể viết như sau:



Từ vế trái của phương trình trên ta có thể viết

$$f = \frac{\Phi}{\Phi + r} \quad (1.10)$$

* Quan hệ của f đối với tỷ lệ khối lượng các chất, mật độ, nhiệt độ:

Sức mạnh của mô hình tỷ lệ trộn là ở chỗ nó cho phép hóa học chỉ còn 1 hoặc 2 phương trình bảo toàn tỷ lệ trộn. Với các giả định của cân bằng hóa học, tất cả các vô hướng nhiệt hóa học (khối lượng các chất, mật độ, nhiệt độ) phụ thuộc duy nhất tỷ lệ trộn.

Đối với hệ thống một tỷ lệ trộn, đoạn nhiệt, giá trị tức thời của tỷ lệ khối lượng, mật độ, nhiệt độ phụ thuộc giá trị tức thời của tỷ lệ trộn

$$\phi_i = \phi_i(f) \quad (1.11)$$

Nếu bao gồm cả dòng thứ cấp thì các vô hướng trên phụ thuộc vào f_{fuel} và tỷ lệ một phần thứ cấp p_{sec}

$$\phi_i = \phi_i(f_{fuel}, p_{sec}) \quad (1.12)$$

Trong trường hợp hệ thống không đoạn nhiệt, ảnh hưởng của sự thu hay tỏa thất nhiệt thông số như sau:

$$\phi_i = \phi_i(f, H) \quad (1.13)$$

Cho hệ thống một tỷ lệ trộn và cho hệ thống bao gồm cả luồng thứ cấp:

$$\phi_i = \phi_i(f_{fuel}, p_{sec}, H) \quad (1.14)$$

Ví dụ của dòng không đoạn nhiệt như các hệ thống có sự bức xạ, trao đổi nhiệt qua tường, nhiều đầu vào với nhiệt độ khác nhau.

1.1.3. Mô hình tương tác rối, hóa học

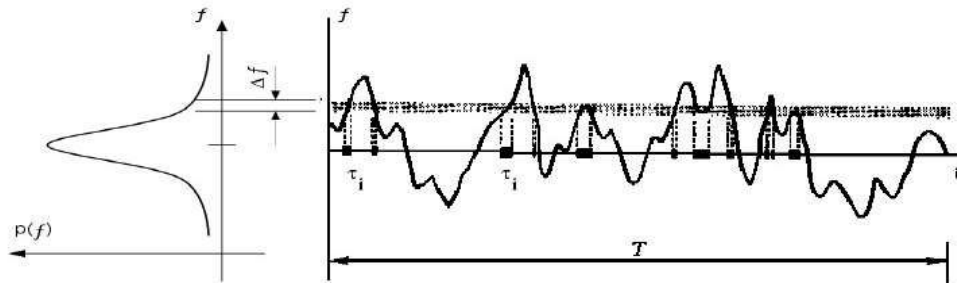
Từ phương trình 1.11 đến 1.14 mô tả quan hệ tức thời giữa tỷ lệ trộn và tỷ lệ các chất, mật độ, nhiệt độ dưới giả định cân bằng hóa học. Tuy nhiên, sự dự đoán của Fluent đối với dòng phản ứng rối có liên quan đến sự dự đoán các giá trị trung bình của các vô hướng dao động này. Các giá trị trung bình này quan hệ thế nào với các giá trị tức thời phụ thuộc vào mô hình tương tác rối, hóa học được sử dụng. Fluent áp dụng phương pháp hàm mật độ thống kê có hình dạng giả định trước và mô hình đóng của nó khi mô hình cháy không trộn lẫn trước được sử dụng.

* *Mô tả hàm mật độ xác suất:*

Hàm mật độ xác suất, viết là $p(f)$ có thể xem như là tỷ lệ thời gian mà dòng chảy xuất hiện ở lân cận trạng thái f . Hình 1.3 vẽ tỷ lệ trộn tại mỗi điểm trong dòng chảy (bên phải) và hàm mật độ thống kê của f (bên trái). Sự dao động của f ở hình bên phải sử dụng một số tỷ lệ thời gian trong khoảng ký hiệu Δf . $p(f)$ ở hình vẽ bên trái lấy những giá trị mà vùng dưới đường cong của nó ký hiệu Δf bằng với tỷ lệ thời gian f xuất hiện trong khoảng đó, viết theo công thức toán như sau:

$$p(f) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \sum_i \tau_i \quad (1.15)$$

Với T là thang thời gian và τ_i là số thời gian mà f tồn tại trên băng Δf . Hình dạng hàm $p(f)$ phụ thuộc vào bản chất dao động rối của f . Trong thực tế $p(f)$ không xác định và được mô hình như một hàm toán mà xấp xỉ các hình dạng hàm PDF hiện tại đã được quan sát thực nghiệm.



Hình 1. 3. Hàm mật độ xác suất

* Rút ra các giá trị vô hướng trung bình từ tỷ lệ trộn tức thời

Hàm mật độ xác suất Δf mô tả sự dao động theo thời gian của f trong dòng rối có thể dùng để tính toán các giá trị trung bình của các biến phụ thuộc vào f . Tỷ lệ khối lượng các chất và nhiệt độ trung bình khối lượng-mật độ có thể tính(trong hệ đoạn nhiệt) như sau:

$$\bar{\phi}_i = \int_0^1 p(f) \phi_i(f) df \quad (1.16)$$

Đối với hệ thống 1 tỷ lệ trộn, khi mà có một dòng thứ cấp tồn tại, giá trị trung bình được tính như sau:

$$\bar{\phi}_i = \int_0^1 \int_0^1 p_1(f_{fuel}) p_2(p_{sec}) df_{fuel} dp_{sec} \quad (1.17)$$

Với p_1 là hàm mật độ xác suất của f_{fuel} , p_2 là hàm mật độ xác suất của p_{sec} . Ở đây, sự độc lập thống kê của f_{fuel} và p_{sec} được giả định:

$$p(f_{fuel}, p_{sec}) = p_1(f_{fuel}) p_2(p_{sec}).$$

Tương tự mật độ chất lưu trung bình thời gian $\bar{\rho}$ được tính như sau:

$$\frac{1}{\bar{\rho}} = \int_0^1 \frac{p(f)}{\rho(f)} df \quad (1.18)$$

Đối với hệ thống một tỷ lệ trộn và có dòng thứ cấp:

$$\frac{1}{\bar{\rho}} = \int_0^1 \int_0^1 \frac{p_1(f_{fuel}) p_2(p_{sec})}{\rho(f_{fuel}, p_{sec})} df_{fuel} dp_{sec} \quad (1.19)$$

$\rho(f)$ và $\rho(f_{fuel}, p_{sec})$ là mật độ tức thời thu được từ nhiệt độ và tỷ lệ các chất tức thời trong phương trình khí lý tưởng.

* Hình dạng giả định của hàm mật độ xác suất:

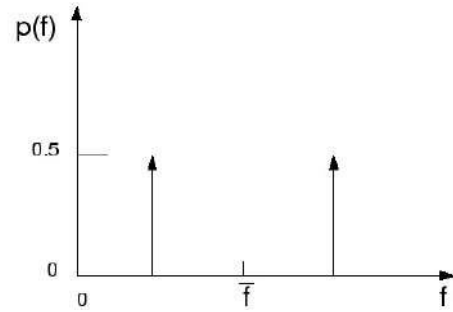
Hình dạng hàm mật độ xác suất giả định $p(f)$ được mô tả trong Fluent bởi một trong hai hàm toán sau:

- + Hàm delta kép(chỉ cho trường hợp hai tỷ lệ trộn).
- + Hàm β (cho các trường hợp một và hai tỷ lệ trộn)

Hàm PDF delta kép có dạng như sau:

$$p(f) = \begin{cases} 0.5, & f = \bar{f} - \sqrt{\bar{f}^2} \\ 0.5, & f = \bar{f} + \sqrt{\bar{f}^2} \\ 0, & \neq \end{cases} \quad (1.20)$$

Với biên thích hợp tại $f=1$ và $f=0$, một ví dụ của hàm delta kép được minh họa trên hình 3.4, như đã ghi ở trên, hàm delta kép tính rất dễ nhưng luôn kém chính xác hơn hàm β vì nó giả định chỉ có hai trạng thái xảy ra trong dòng rối. Vì lý do đó mà hàm delta kép chỉ dùng cho mô phỏng hệ thống hai tỷ lệ trộn khi việc tiết kiệm chi phí tính toán có ý nghĩa lớn.



Hình 1. 4. Hàm delta kép

Hàm mật độ xác suất β là hàm của $\bar{f}$ và $\bar{f}^2$

$$p(f) = \frac{f^{\alpha-1}(1-f)^{\beta-1}}{\int f^{\alpha-1}(1-f)^{\beta-1} df} \quad (1.21)$$

Với

$$\alpha = \bar{f} \left[\frac{\bar{f}(1-\bar{f})}{\bar{f}^2} - 1 \right] \quad (1.22)$$

Và

$$\beta = (1-\bar{f}) \left[\frac{\bar{f}(1-\bar{f})}{\bar{f}^2} - 1 \right] \quad (1.23)$$

1.1.4. Mô hình không trộn trước cho trường hợp không đoạn nhiệt

Rất nhiều hệ thống phản ứng bao gồm trao đổi nhiệt qua tường biên, giọt nhỏ... Trong những dòng như vậy, trạng thái nhiệt hóa học không chỉ phụ thuộc vào f mà còn phụ thuộc vào entanpy H . Entanpi hệ thống tác động lên tính toán cân bằng hóa học, nhiệt độ và các chất của dòng phản ứng. Vì thế, sự thay đổi entanpi do tổn thất nhiệt phải được xét đến khi tính các vô hướng từ tỷ lệ trộn như trong phương trình 1.13.

Trong những hệ thống không đoạn nhiệt này, các dao động rối có thể tính bằng các giá trị trung bình của một hàm mật độ xác suất liên kết, $p(f, H)$. Tuy nhiên sự tính toán của $p(f, H)$ không được thực hiện trong phần lớn các ứng dụng

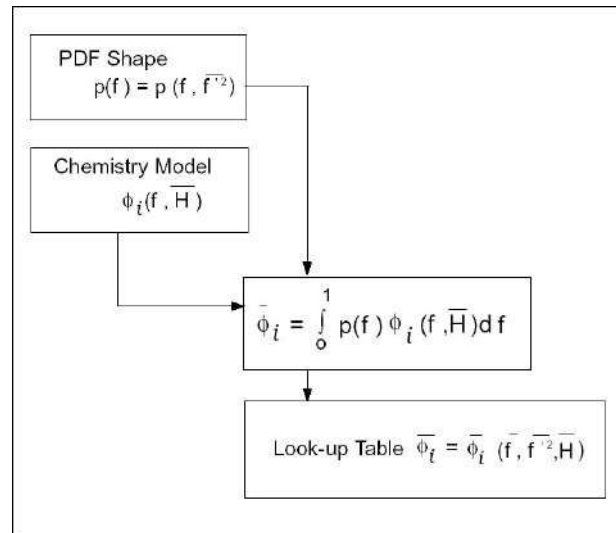
kỹ thuật. Vấn đề này có thể được đơn giản hóa đáng kể bằng cách giả định các dao động của entanpi độc lập với mức entanpi (ví dụ: tổn thất nhiệt không tác động đáng kể đến dao động entanpi rồi). Với giả định này, ta có $p(f, H) = p(f)\delta(H - \bar{H})$, các số vô hướng trung bình được tính như sau:

$$\bar{\phi}_i = \int_0^1 \phi_i(f, \bar{H}) p(f) df \quad (1.24)$$

Sự xác định của $\bar{\phi}_i$ trong hệ thống không đoạn nhiệt, do đó đòi hỏi phương pháp giải phương trình vận chuyển mô hình hóa cho entanpi trung bình.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \bar{H}) + \text{div}(\rho \vec{v} \bar{H}) = \text{div}\left(\frac{k_t}{c_p} \text{grad}(\bar{H})\right) + S_h \quad (1.25)$$

Với S_h được tính là số hạng nguồn do bức xạ, trao đổi nhiệt với lớp biên tường, và trao đổi nhiệt với pha phân tán. Hình 3.5 mô tả sự phụ thuộc logic của các giá trị vô hướng trung bình (tỷ lệ khối lượng các chất, mật độ, nhiệt độ) vào các dự đoán của Fluent: f , $\bar{f}^{i2}$ và $\bar{H}$ trong hệ thống 1 tỷ lệ trộn không đoạn nhiệt:



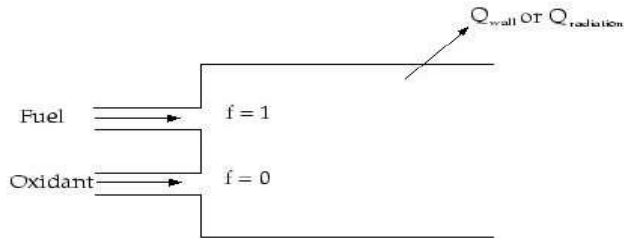
Hình 1. 5. Mô hình tính toán tỷ lệ trộn

Khi bao gồm cả dòng thứ cấp, giá trị trung bình được tính như sau:

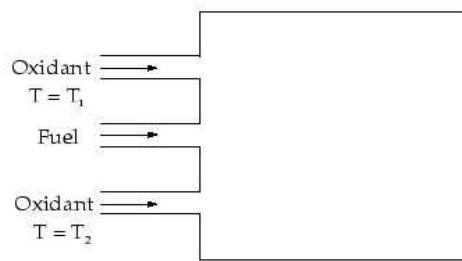
$$\bar{\phi}_i = \int_0^1 \int_0^1 \phi_i(f_{fuel}, p_{sec}, \bar{H}) p_1(f_{fuel}) p_2(p_{sec}) df_{fuel} dp_{sec} \quad (1.26)$$

Như đã ghi ở trên, sự mở rộng không đoạn nhiệt cho mô hình PDF được yêu cầu cho hệ thống có sự truyền nhiệt đến tường và trong hệ thống bao gồm cả bức xạ.

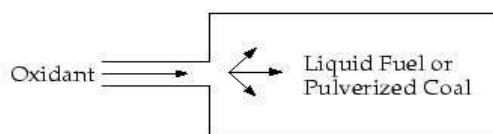
Thêm vào đó mô hình không đoạn nhiệt được yêu cầu cho cả hệ thống bao gồm nhiều đầu vào nhiên liệu và chất oxy hóa với nhiệt độ vào khác nhau. Cuối cùng, mô hình không đoạn nhiệt được yêu cầu trong dòng chứa nhiều phân tử (hệ thống nhiên liệu lỏng hoặc hệ thống cháy bằng than) khi hệ thống bao gồm cả sự truyền nhiệt đến các pha phân tán. Hình 1.6 minh họa một số hệ thống bao gồm dạng không đoạn nhiệt của mô hình PDF.



(a) Truyền nhiệt đến khu vực biên và/hoặc truyền nhiệt bức xạ



(b) Nhiều luồng nhiên liệu và chất oxy hóa vào với nhiệt độ khác nhau.



(c) Truyền nhiệt hoặc khối lượng pha phân tán

Hình 1. 6. Hệ thống không đoạn nhiệt của PDF

2. Các mô hình cháy khác

Trong Fluent ngoài mô hình cháy không trộn lẫn trước còn có mô hình cháy trộn lẫn trước và mô hình trộn trước một phần nhưng mục tiêu của luận án là đi nghiên cứu về quá trình hòa trộn - cháy trong động cơ diesel cho nên mô hình cháy được lựa chọn là “không trộn lẫn trước”.

PHỤ LỤC 6

QUI HOẠCH THỰC NGHIỆM TRONG KỸ THUẬT

Nghiên cứu qui hoạch thực nghiệm (Experimental research) là dạng nghiên cứu về mối quan hệ “Nguyên nhân - kết quả”. Trước hết, nhà nghiên cứu xác định các thông số (hay các biến) cần và có thể quan tâm. Sau đó, tiến hành các thí nghiệm nhằm quan sát, đánh giá xem mục tiêu (còn gọi là biến phụ thuộc, thông số đầu ra) thay đổi như thế nào khi một hay nhiều biến khác (gọi là biến độc lập hay thông số đầu vào) được thay đổi.

1. Giới thiệu

Một trong những mục đích chính yếu của nghiên cứu thực nghiệm trong kỹ thuật là tìm giá trị cực trị hay tìm vùng tối ưu cho một quá trình hay các điều kiện tối ưu để vận hành một hệ thống. Lớp các bài toán nghiên cứu thực nghiệm về vấn đề tối ưu thường được biết đến với tên gọi “phương pháp bề mặt đáp ứng” (Response Surface Methods – RSM).

Phương pháp bề mặt đáp ứng rất hữu ích trong việc phát triển, nâng cao hiệu quả và tối ưu hóa quá trình khai thác. Nó cũng có các ứng dụng quan trọng trong việc thiết kế và phát triển các sản phẩm/hệ thống mới cũng như cải thiện các sản phẩm/hệ thống hiện có. Nội dung chính của RSM là sử dụng một chuỗi các thí nghiệm được thiết kế với các mục đích sau:

- Chỉ ra tập giá trị các biến đầu vào (điều kiện vận hành, thực thi) sao cho tạo ra ứng xử của đối tượng nghiên cứu là “tốt nhất”;
- Tìm kiếm các giá trị biến đầu vào nhằm đạt được các yêu cầu cụ thể về ứng xử của đối tượng nghiên cứu;
- Xác định các điều kiện vận hành mới đảm bảo cải thiện chất lượng hoạt động của đối tượng so với tình trạng cũ;
- Mô hình hóa quan hệ giữa các biến đầu vào với ứng xử của đối tượng nghiên cứu, dùng làm cơ sở để dự đoán hay điều khiển quá trình hay hệ thống.

Để đạt được các mục đích trên, phương pháp RSM thực hiện việc xây dựng hàm mô tả bề mặt đáp ứng phụ thuộc các thông số đầu vào.

2. Thí nghiệm bề mặt đáp ứng

Thí nghiệm bề mặt đáp ứng (Response Surface Designs) được sử dụng để xây dựng mô hình mô tả quan hệ giữa hàm chỉ tiêu với các biến thí nghiệm. Quan hệ hàm-biến được mô tả dưới dạng một “bề mặt đáp ứng” (Response Surface), hay còn gọi là “bề mặt đáp trị”, “bề mặt ứng xử”, “bề mặt chỉ tiêu”... Với hàm 2 biến, ta dễ dàng hình dung ra quan hệ này có thể được biểu diễn dưới dạng một mặt cong trong

không gian ba chiều. Khi số biến thí nghiệm nhiều hơn, mặt chỉ tiêu trở thành siêu mặt (Hyper planes) trong không gian đa chiều. Nhờ xác định được quan hệ vào-ra giữa các biến thí nghiệm với hàm mục tiêu, ta có thể hoặc tối ưu hóa hàm mục tiêu hoặc xác định tập thông số vào để nhận được giá trị hàm mục tiêu như ý muốn.

Các thí nghiệm được thiết kế sao cho chúng cho phép ta xác lập được các ảnh hưởng tương tác và ảnh hưởng bậc cao của các yếu tố, từ đó có thể dựng được bề mặt đáp ứng (Response Surface) của đại lượng đang cần quan tâm. Dựa vào kết quả thí nghiệm, ta xây dựng được mô hình hồi quy (Regression Model), hay còn gọi là mô hình thực nghiệm (Empirical Model) nhằm biểu diễn quan hệ vào-ra dưới dạng một hàm liên tục. Có thể sử dụng hàm hồi quy nhằm dự đoán ứng xử của hệ thống, quá trình hay của đối tượng dưới các điều kiện đầu vào khác nhau.

Hầu hết các công trình nghiên cứu đều gắn với thực nghiệm. Nghiên cứu thực nghiệm trong kỹ thuật là nhằm xác định quan hệ giữa các thông số đầu vào với một hay nhiều thông số mục tiêu đầu ra của đối tượng. Hiểu rõ quan hệ này có thể giúp cải thiện, tối ưu hóa đối tượng nghiên cứu.

Nghiên cứu thực nghiệm cần được thực hiện theo kế hoạch. Lý thuyết về lập kế hoạch thí nghiệm còn được gọi là “Quy hoạch thực nghiệm” hay “Thiết kế thí nghiệm” (Design Of Experiments – DOE). DOE giúp nhà nghiên cứu thực hiện ít thí nghiệm nhất có thể nhưng lại thu được nhiều thông tin hữu ích nhất về đối tượng được nghiên cứu.

Các dữ liệu thực nghiệm thường chỉ có thể thu thập được từ một số mẫu của một tập hợp lớn phần tử của đối tượng nghiên cứu. Các thuộc tính của đối tượng nghiên cứu được suy diễn từ các thông tin có được sau khi phân tích dữ liệu thu được từ các mẫu. Để phân tích dữ liệu thí nghiệm, cần sử dụng các kỹ thuật phân tích thống kê. Sử dụng các phần mềm chuyên dụng trên máy tính giúp nhà nghiên cứu tránh được sự “buồn tẻ khô khan, những công thức rắc rối” của thống kê xác suất và có thể tập trung sức lực vào mục đích chính của công trình nghiên cứu.

Khi cần mô tả chính xác quan hệ giữa hàm mục tiêu và các thông số thí nghiệm, ta tiến hành kế hoạch thí nghiệm bề mặt đáp ứng (Response Surface Design). Mục đích của kế hoạch này là bổ sung thêm các điểm thí nghiệm nhằm có thể xây dựng mô hình bậc 2 mô tả hàm mục tiêu. Thực tế kinh nghiệm đã chỉ ra rằng, với vùng giới hạn nhỏ giữa các mức thí nghiệm, hàm bậc 2 là đủ chính xác để mô tả các hàm mục tiêu.

Các công việc cần làm ở giai đoạn này là:

1. Xây dựng kế hoạch thí nghiệm (thiết kế thí nghiệm);
2. Tiến hành các thí nghiệm và thu thập kết quả;
3. Phân tích số liệu thí nghiệm; xây dựng mô hình hồi quy;

4. Xác định điều kiện tối ưu hóa;
5. Thực hiện các thí nghiệm kiểm định.

3. Kế hoạch thí nghiệm bề mặt đáp ứng

Khi xây dựng kế hoạch thí nghiệm bề mặt đáp ứng, ta có thể chọn một trong hai dạng kế hoạch thiết kế: thiết kế dạng hỗn hợp tâm xoay (CCD – Central Composite Design) hoặc thiết kế Box-Behnken (Box- Behnken design). Mỗi dạng có những ưu nhược điểm nhất định và thích hợp với từng điều kiện nhất định.

Khi đã ở vùng chứa cực trị, để mô tả chính xác quan hệ giữa hàm mục tiêu với các biến thí nghiệm, ta cần khảo sát nhiều mức giá trị cho mỗi biến.

4. Tiến trình tối ưu hóa

Tiến trình tối ưu hoá bằng RSM thường gồm 3 giai đoạn sau:

- Giai đoạn 1: Thí nghiệm khởi đầu. Sau khi tiến hành các thí nghiệm sàng lọc (Screening Design) nhằm lựa chọn các biến thí nghiệm được tiếp tục khảo sát, ta phân tích mô hình rút gọn (đã loại bỏ các yếu tố không có ảnh hưởng đáng kể), nhằm xây dựng mô hình hồi quy bậc nhất mô tả hàm mục tiêu. Việc đánh giá mức độ không phù hợp của mô hình bậc nhất cho phép ta kiểm tra được xem vùng đã khảo sát có ở vùng lân cận cực trị hay không. Nếu mô hình bậc nhất không phù hợp, có nghĩa là hàm mục tiêu đã ở vùng lân cận cực trị, chuyển sang giai đoạn 3; trái lại, chuyển sang giai đoạn 2.
- Giai đoạn 2: Leo dốc tìm vùng cực trị. Nếu vùng thí nghiệm còn ở xa vùng cực trị, tiến hành các thí nghiệm nhằm tìm nhanh đến vùng chứa cực trị. Phương pháp thực hiện có tên là Leo dốc/ xuống dốc (Steepest Ascent/Descent Method) tìm vùng cực trị. Nhiệm vụ cơ bản là xác định giá trị gia số cho từng biến thí nghiệm. Sau đó tiến hành các thí nghiệm với các giá trị mới của các biến cho đến khi hàm mục tiêu đảo chiều thay đổi giá trị. Thí nghiệm xác định mức độ không phù hợp của mô hình bậc nhất được tiến hành để khẳng định khả năng đã ở vùng chứa cực trị.
- Giai đoạn 3: Thí nghiệm bề mặt đáp ứng. Khi đã ở vùng lân cận cực trị, tiến hành các thí nghiệm để mô tả quan hệ vào-ra dưới dạng hàm bậc cao (Hồi quy bậc cao). Các thí nghiệm được thiết kế theo kế hoạch thí nghiệm bề mặt đáp ứng (Response Surface Design). Cuối cùng, tiến hành phân tích đánh giá kết quả để đưa ra các kết luận.

Tiến trình tối ưu hóa bằng RSM chủ yếu dựa trên các mô hình hồi quy thực nghiệm.

5. Đánh giá mức độ phù hợp của mô hình

Trong quá trình đi tìm vùng chứa cực trị của hàm mục tiêu, ta cần kiểm tra xem mô hình hồi quy mô tả hàm mục tiêu là bậc nhất hay bậc cao. Sau khi xây dựng hàm mục tiêu, ta tiến hành kiểm định giả thuyết thống kê để đánh giá xem mô

hình đã khớp (fit) với dữ liệu tốt đến mức nào. Việc đánh giá như vậy được gọi là “kiểm định mức độ không phù hợp của mô hình” (Lack of fit test). Giả thuyết thống kê được phát biểu như sau:

- Giả thuyết đảo: Mô hình khớp với dữ liệu;
- Giả thuyết chính: Mô hình không khớp với dữ liệu;

Cũng như các phép kiểm định thống kê khác, thông số quan trọng để chấp nhận hay loại bỏ giả thuyết đảo là giá trị p (p-value). Lý thuyết tính toán thống kê chỉ ra như sau:

- Nếu giá trị p nhỏ hơn mức ý nghĩa α , ta loại bỏ giả thuyết đảo. Nghĩa là, mô hình đã xây dựng không khớp với dữ liệu;
- Nếu giá trị p lớn hơn mức ý nghĩa α , mô hình đã dựng là phù hợp để mô tả dữ liệu;

Để có thể kiểm định về mức độ phù hợp của mô hình, mỗi biến trong một kế hoạch thí nghiệm cần nhận 3 mức giá trị. Dễ thấy nếu chỉ khảo sát 2 giá trị của biến, mô hình bậc nhất sẽ luôn tỏ ra là phù hợp với dữ liệu và do vậy, ta không có khả năng phát hiện khi nào mô hình này là không phù hợp. Trong các thí nghiệm khởi đầu, để có 3 mức giá trị cho mỗi biến, ta thường bổ sung điểm thí nghiệm trung tâm - là điểm có giá trị trung bình cộng của hai giá trị cao nhất và thấp nhất của biến.

6. Tối ưu hóa đa mục tiêu

Bài toán tối ưu hóa đồng thời nhiều chỉ tiêu phức tạp hơn không chỉ ở chỗ cần xem xét nhiều chỉ tiêu, mà còn ở chỗ có một số hàm chỉ tiêu có “lợi ích” trái ngược nhau. Để giải quyết bài toán này, ta cần chấp nhận một số nhượng bộ (Trade-offs) nhất định.

Việc xác định cực trị cho hàm mục tiêu trong Minitab rất đơn giản. Trước hết, mở Worksheet chứa dữ liệu thí nghiệm. Tiếp đó, kích menu Stat > DOE > Response Surface > Response Optimizer. Chọn tên cột chứa kết quả thí nghiệm cho hàm mục tiêu cho hộp Selected. Tiếp đó, kích nút Setup để thiết lập các giá trị xác định cách tìm cực trị. Có các lựa chọn sau:

- Goal: chọn dạng cực trị muốn tìm (Maximize – tối đa; Minimize – tối thiểu hay Target: giá trị mong muốn);
- Nhập các giá trị giới hạn cho hàm mục tiêu:
 - * Lower: Nhập giá trị giới hạn dưới của giá trị hàm mục tiêu;
 - * Target: Nhập giá trị mong muốn cho hàm mục tiêu;
 - * Upper: Nhập giá trị giới hạn trên cho hàm mục tiêu.

Nếu tìm cực tiểu, cần nhập 2 giá trị Target và Upper; khi tìm cực đại, cần nhập 2 giá trị Target và Lower. Nếu tìm một giá trị mong muốn, cần nhập cả 3 giá trị

Lower, Target và Upper. Các giá trị được nhập cần đảm bảo nguyên tắc $Lower < Target < Upper$.

Kích nút OK trong các hộp thoại. Kết quả phân tích tối ưu sẽ được Minitab hiển thị bằng đồ thị Optimization Plot và bằng văn bản trên cửa sổ Session.

Tối ưu hóa bằng thực nghiệm thường được thực hiện thông qua việc xây dựng mô hình bề mặt đáp ứng. Dưới đây là các lưu ý khi thiết kế các thí nghiệm bề mặt đáp ứng:

- Số lần thí nghiệm cần thiết là tích số giữa số lần lặp (Replication) với số điểm thí nghiệm đã thiết kế. Nói cách khác, mỗi lần lặp là một lần thực hiện lại toàn bộ kế hoạch thí nghiệm đã thiết kế.

- Việc lặp lại thí nghiệm nhằm giảm bớt các sai số do nhiễu. Mục đích lặp để xác định một cách tin cậy các yếu tố ảnh hưởng chính đã được thực hiện ở bước thí nghiệm sàng lọc. Do vậy, nếu không có yêu cầu gì đặc biệt với thí nghiệm tối ưu hóa, một lần lặp là đủ;

- Nếu việc thực hiện thí nghiệm CCD gặp khó khăn, có thể chọn dạng kế hoạch Box-Behnken.

- Nếu có ba biến thí nghiệm, kế hoạch thí nghiệm Box-behnken chỉ cần 15 lần chạy sẽ tiết kiệm hơn so với kế hoạch CCD cần 20 lần chạy;

- Nếu có 5 biến thí nghiệm, kế hoạch CCD với 32 lần chạy sẽ tiết kiệm hơn kế hoạch Box-behnken với 43 lần chạy;

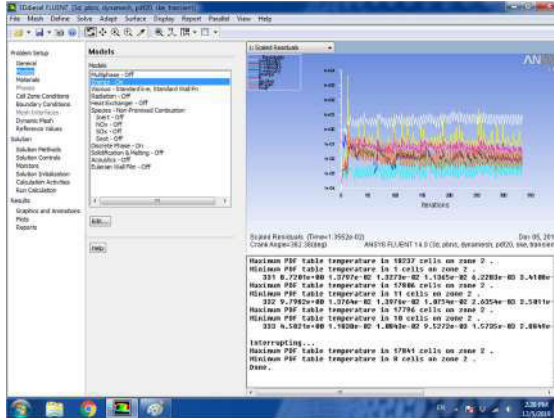
- Cần thực hiện thí nghiệm kiểm định vùng dừng (vùng lân cận cực trị) để khẳng định là mô hình hồi quy bậc nhất là không còn phù hợp trước khi thực hiện các kế hoạch thí nghiệm bề mặt đáp ứng.

7. Kết luận

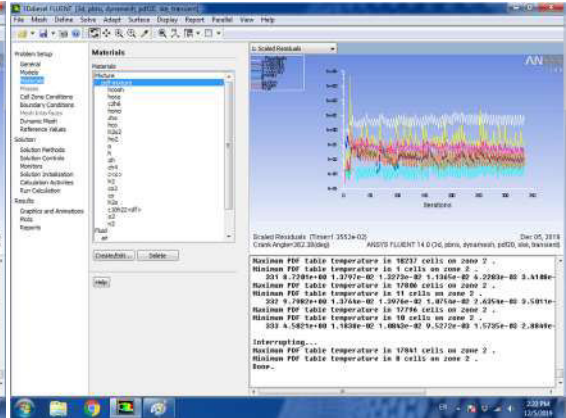
Phần này đã trình bày một cách có hệ thống từng bước của một quá trình tối ưu hóa cho nhiều chỉ tiêu đồng thời bằng phương pháp bề mặt đáp ứng. Cần phân biệt hai thuật ngữ: phương pháp thí nghiệm bề mặt đáp ứng (Response Surface Method) và thí nghiệm bề mặt đáp ứng (Response Surface Design). Phương pháp bề mặt đáp ứng (RSM) là cách thức khảo sát và tìm vùng cực trị hoặc vùng đáp ứng các giá trị xác định cho các hàm mục tiêu bằng cách xây dựng các bề mặt đáp ứng. Phương pháp này được thực thi thông qua các giai đoạn: thí nghiệm khởi đầu; leo dốc/xuống dốc; kiểm định vùng dừng (nếu tìm cực trị) và cuối cùng là thiết kế, thực thi và phân tích thí nghiệm bề mặt đáp ứng. Thí nghiệm bề mặt đáp ứng gồm 2 dạng chủ yếu là thí nghiệm hỗn hợp tâm xoay (CCD) và thí nghiệm Box-Behnken. Việc phân tích bề mặt đáp ứng để tối ưu hóa hay đáp ứng yêu cầu đạt được một khoảng giá trị xác định cho các hàm mục tiêu được thực hiện dễ dàng, nhanh chóng và chính xác bằng máy tính.

PHỤ LỤC 7

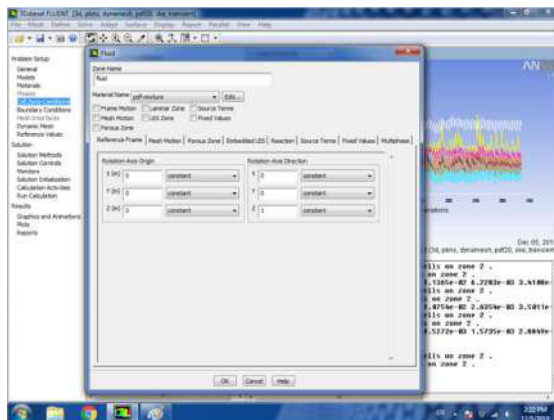
CÁC HÌNH ẢNH THỰC HIỆN MÔ PHỎNG BẰNG PHẦN MỀM ANSYS FLUENT TRÊN MÁY TÍNH CHỦ



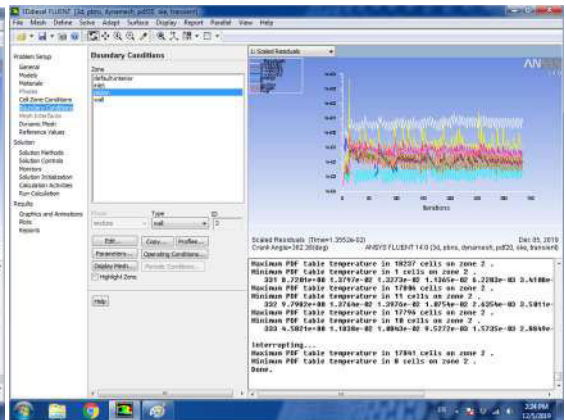
Hình 1. Bật năng lượng



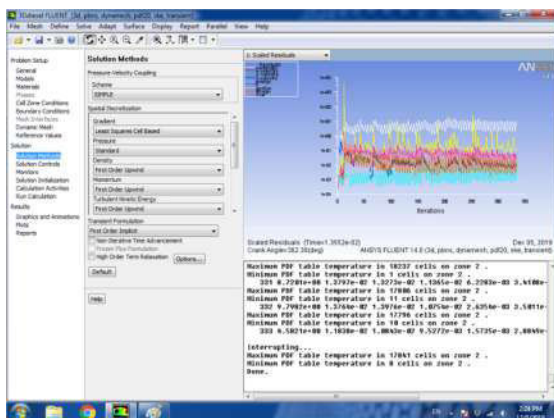
Hình 2. Nhập vật liệu



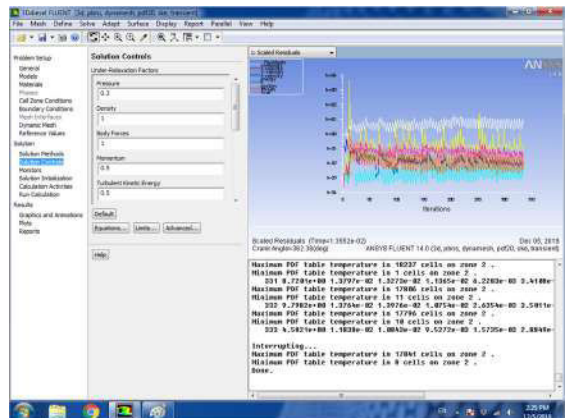
Hình 3. Chọn trục tọa độ



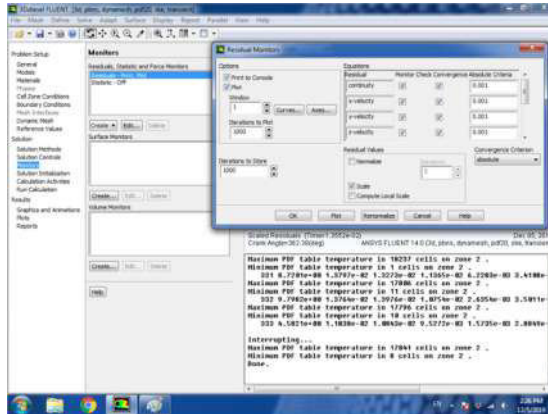
Hình 4. Đặt các điều kiện biên



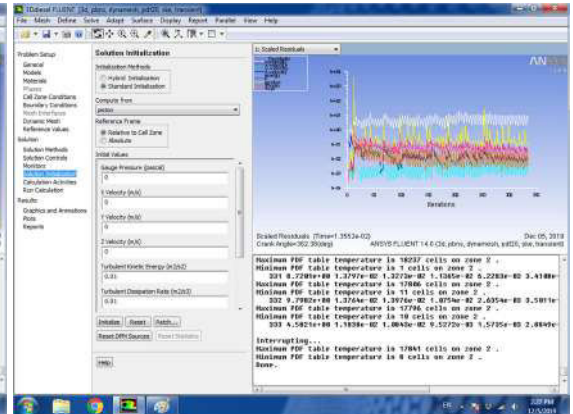
Hình 5. Chọn giải pháp điều khiển



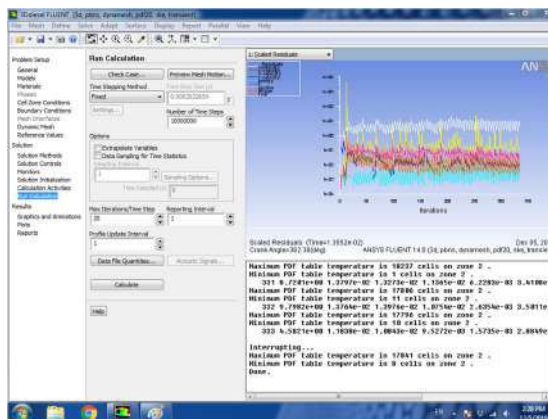
Hình 6. Hiệu chỉnh giải pháp điều khiển



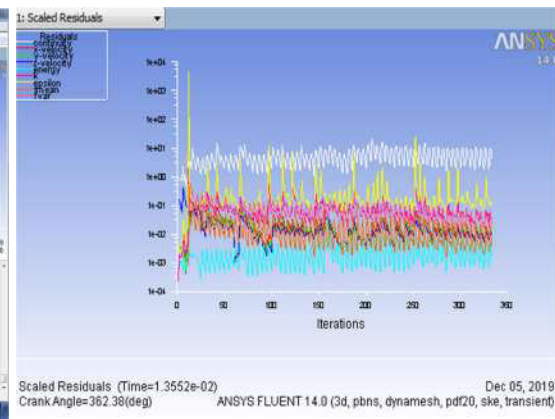
Hình 7. Giám sát kiểm tra hội tụ



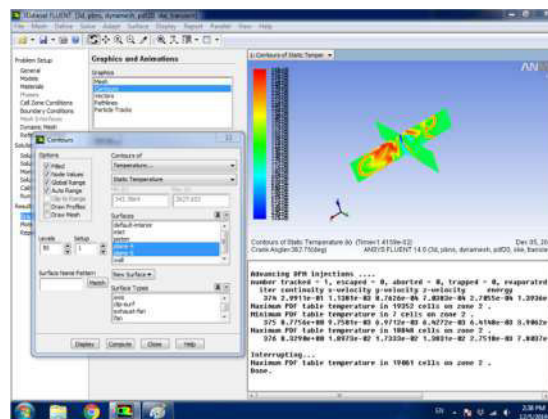
Hình 8. Khởi tạo chương trình tính



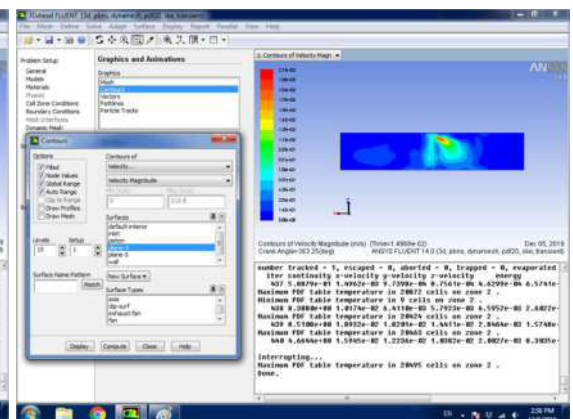
Hình 9. Kết quả tính nếu hội tụ



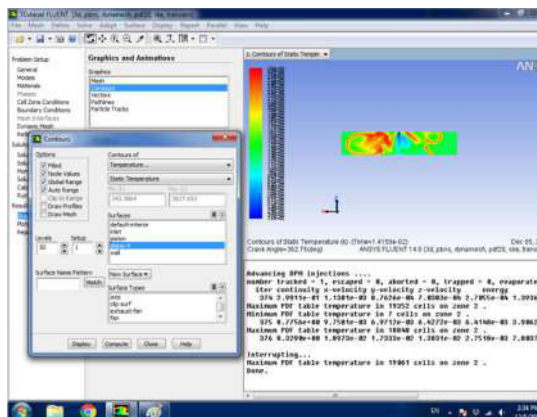
Hình 10. Chạy các vòng lặp để tìm điểm hội tụ



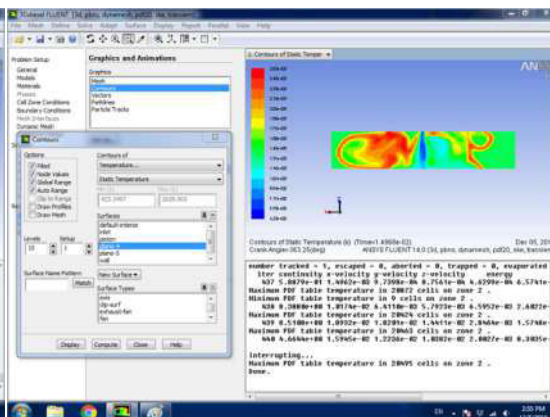
Hình 11. Hai mặt cắt vuông góc của trường nhiệt độ



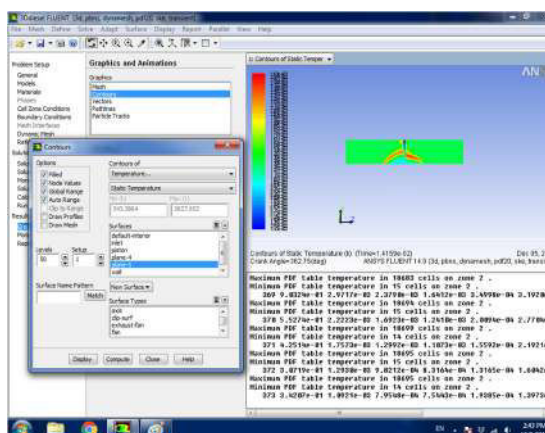
Hình 12. Trường vận tốc, PO10



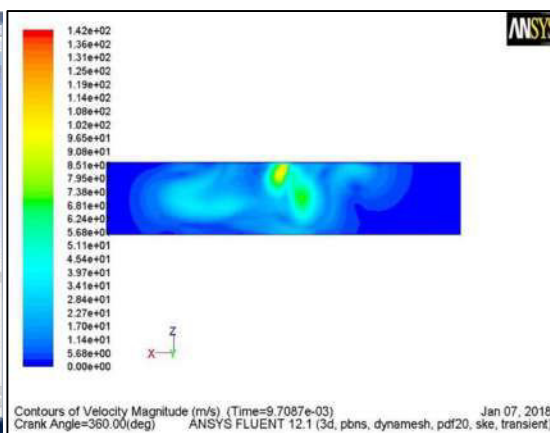
Hình 13. Kết quả trường nhiệt độ đã hội tụ, PO20 tại 362,75⁰GQTK



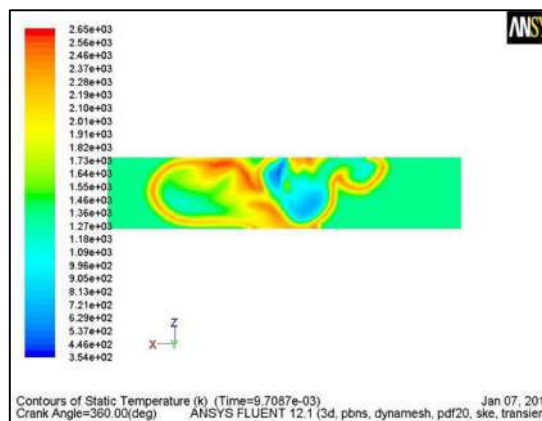
Hình 14. Kết quả trường nhiệt độ đã hội tụ, PO20 tại 363,25⁰GQTK



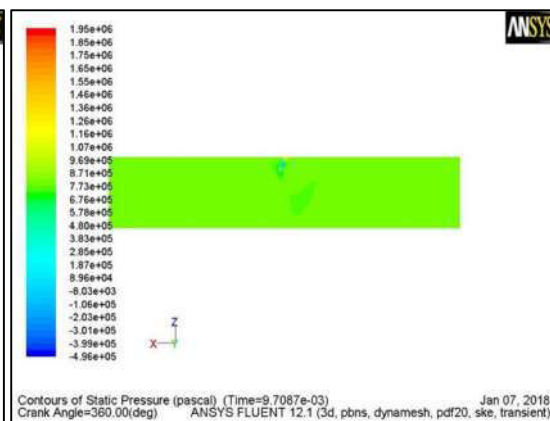
Hình 15. Kết quả trường nhiệt độ đã hội tụ, PO30 tại 362,75⁰GQTK



Hình 16. Trường vận tốc, PO20



Hình 17. Trường nhiệt độ, PO20



Hình 18. Trường áp suất, PO20

PHỤ LỤC 8
CÁC HÌNH ẢNH THỰC NGHIỆM VỚI ĐỘNG CƠ DIESEL 6LU32
TẠI PHÒNG THÍ NGHIỆM HỆ ĐỘNG LỰC - ĐHHHVN



Hình 1. Hệ thống cấp nhiên liệu cho động cơ Hanshin 6LU32



Hình 2. Piston và xi lanh số 1 của động cơ được tháo ra kiểm tra trước và sau khi chạy PO



Hình 3. Kiểm tra chất lượng phun trên bộ thử và đo lưu lượng phun



Hình 4. Tình trạng vòi phun nhiên liệu động cơ 6LU32 trước khi chạy thử



Hình 5. Bộ thử vòi phun động cơ diesel

Bộ thử vòi phun động cơ diesel tại phòng thí nghiệm với các thông số:

- Kiểm tra áp suất phun tới 1000 bar;
- Cần bơm bằng tay;
- Bình đựng nhiên liệu dung tích 1 lít có phin lọc tinh;
- Kết cấu bàn 4 chân kim loại vững chắc;
- Ống nối cao áp, giắc co;
- Ngoài ra còn có: cân tiêu ly điện tử, nhiệt kế, thiết bị hâm để duy trì nhiệt độ, ly thủy tinh chuyên dụng, giấy để xem hình ảnh phun, camera quay phim tốc độ cao.



Hình 6. Các mẫu nhiên liệu hỗn hợp PO



Hình 7. Kiểm tra trực quan chất lượng dầu cò



Hình 8. Tình trạng đầu vòi phun động cơ 6LU32 sau khi chạy thử các loại hỗn hợp nhiên liệu



Hình 9. Một số hình ảnh trong quá trình tháo lắp động cơ

CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM

Độc lập - Tự do - Hạnh phúc

**GIẤY XÁC NHẬN CỦA CHỦ NHIỆM/TÁC GIẢ ĐỀ TÀI/LUẬN ÁN
CHO PHÉP NCS SỬ DỤNG KẾT QUẢ BÀI BÁO/CÔNG TRÌNH
NCKH VÀO NỘI DUNG LUẬN ÁN TIẾN SĨ**

Tôi là: **PGS. TSKH. ĐẶNG VĂN UY**, ngày sinh 29/3/1952

Công tác tại: Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Là Chủ nhiệm đề tài/dự án : "NGHIÊN CỨU GIẢI PHÁP CÔNG NGHỆ VÀ CHẾ TẠO THỬ NGHIỆM HỆ THỐNG THIẾT BỊ CHUYÊN ĐỔI ĐỘNG CƠ DIESEL TÀU THỦY CỠ VỪA VÀ NHỎ SANG SỬ DỤNG HỖN HỢP DẦU THỰC VẬT – DẦU DIESEL" MÃ SỐ: ĐT.04.11/NLSH THUỘC ĐỀ ÁN PHÁT TRIỂN NHIÊN LIỆU SINH HỌC ĐẾN NĂM 2015, TẦM NHÌN ĐẾN NĂM 2025 và là tác giả/đồng tác giả các bài báo khoa học sau đây:

- [1] ThS Nguyễn Đức Hạnh, PGS. TSKH. Đặng Văn Uy (tháng 8/2012). *Nghiên cứu khả năng ứng dụng nhiên liệu sinh học cho động cơ diesel thủy cỡ nhỏ trong điều kiện ở Việt Nam*. Tạp chí Khoa học – Công nghệ Hàng hải số 31. ISSN 1859-316X.
- [2] MSc Nguyen Duc Hanh, Prof.,Dr. Dang Van Uy (Sept. 4-6/2013, Far Eastern State Technical Fisheries University, Russia). *To study on the applicability of bio-diesel fuel for the small type marine diesel engine in Vietnam conditions*. The Asia Marine & Fisherier University Forum 2013.
- [3] ThS Nguyễn Đức Hạnh, PGS. TSKH. Đặng Văn Uy, PGS. TS. Nguyễn Đại An (tháng 11/2013). *Nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của hỗn hợp dầu thực vật – dầu diesel đến áp suất phun nhiên liệu của động cơ diesel Hanshin 6LU32*. Tạp chí Khoa học – Công nghệ Hàng hải số 36. ISSN 1859-316X.
- [4] ThS Nguyễn Đức Hạnh, PGS. TSKH. Đặng Văn Uy, PGS. TS. Nguyễn Đại An (tháng 10/2014). *Nghiên cứu ảnh hưởng của hỗn hợp dầu thực vật – dầu diesel đến lưu lượng phun nhiên liệu vào động cơ diesel Hanshin 6LU32*. Tạp chí Cơ khí Việt Nam, số đặc biệt. ISSN 0866-7056.
- [5] ThS Nguyễn Đức Hạnh, PGS. TSKH. Đặng Văn Uy, PGS. TS. Nguyễn Đại An, (tháng 4/2015). *Nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của hỗn hợp dầu thực vật – dầu diesel đến trạng thái kỹ thuật của bơm cao áp và vòi phun động cơ diesel Hanshin 6LU32*. Tạp chí Khoa học – Công nghệ Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội số 27. ISSN 1859-3585.

- [6] MSc Nguyen Duc Hanh, Prof., Dr Nguyen Dai An, Prof., Dr. Dang Van Uy (July/2017). *A study on the applicability of biofuel for the small marine diesel engines in Vietnam conditions*. Tạp chí Khoa học – Công nghệ Xây dựng số 4. ISSN 1859-2996.
- [7] Prof., DSc. Dang Van Uy, Prof., Dr Nguyen Dai An, MSc Nguyen Duc Hanh (Oct.17-19/2018, Barcelona, Spain). *An optimization of marine diesel engine operation parameters when using a mixed fuel (DO and palm oil) as alternative fuel*. IAMU 2018, 19th Annual General Assembly – AGA, of the International Association of Maritime Universities (IAMU).
- [8] Đặng Văn Uy (2014), *Nghiên cứu sự cháy trễ của nhiên liệu sinh học*, Tạp chí Cơ khí Việt Nam (số đặc biệt).
- [9] Dang Van Uy (2013), *A Study on the Use of Pure Palm Oil as An Alternative Fuel on the Fuel Supply System of Marine Diesel Engines*, Journal of Korean Society of Marine Engineering (South Korea), số 37(7).
- [10] Dang Van Uy (2015), *A Study on Conversion of Marine Diesel Engines Using Blended Palm Oil for Inland Waterway Vessels in Vietnam*, Journal of Shipping and Ocean Engineering (USA), số 05(1).
- [11] Dang Van Uy, Nguyen Dai An, Tran The Nam (2015), *A Study on Combustion of Blended Straight Vegetable Oil in Marine Diesel Engine*, Journal of Korean Society of Marine Engineering (South Korea), No 29(8).
- [12] Nguyễn Đức Hạnh, Đặng Văn Uy, Nguyễn Đại An. *Ứng dụng CFD tính toán mô phỏng số quá trình hòa trộn - cháy trong động cơ diesel thủy khí sử dụng nhiên liệu hỗn hợp (dầu DO - dầu cọ) làm nhiên liệu thay thế*. Tạp chí KHKT Thủy lợi và Môi trường số đặc biệt tháng 10 năm 2019. ISSN 1859-3941.
- [13] MSc Nguyen Duc Hanh, Prof., Dr Nguyen Dai An, Prof., Dr. Dang Van Uy. *Simulation of fluid dynamics through nozzles into marine diesel engine combustion chamber using the mixture fuel oil (diesel oil and palm oil) as an alternative one by Fluent-Ansys software*. 30th International Symposium on Transport Phenomena, Vinpearl Halong Bay Resort | 1-3 November 2019.

Tôi hoàn toàn đồng ý cho NCS. **Nguyễn Đức Hạnh** – Trường Đại học Hàng hải Việt Nam được sử dụng nội dung đề tài/dự án và các bài báo khoa học nói trên vào mục đích viết và báo cáo luận án tiến sĩ của NCS ở các cấp.

Hải Phòng, ngày 30 tháng 11 năm 2019

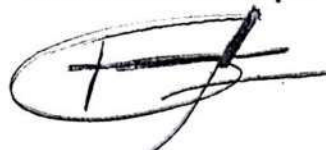
XÁC NHẬN CỦA TRƯỞNG ĐH
HÀNG HẢI VIỆT NAM



HIỆU TRƯỞNG

PGS.TS. *Phạm Xuân Dương*

NGƯỜI XÁC NHẬN



Đặng Văn Uy

CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM
Độc lập - Tự do - Hạnh phúc

GIẤY XÁC NHẬN CỦA ĐỒNG TÁC GIẢ
CHO PHÉP NCS SỬ DỤNG KẾT QUẢ BÀI BÁO/CÔNG TRÌNH NCKH VÀO
NỘI DUNG LUẬN ÁN TIẾN SĨ

Tôi là: **PGS. TS. NGUYỄN ĐẠI AN**, ngày sinh 14/2/1958

Công tác tại: Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Là đồng tác giả các bài báo khoa học sau đây:

- [1] ThS Nguyễn Đức Hạnh, PGS. TSKH. Đặng Văn Uy, PGS. TS. Nguyễn Đại An (tháng 11/2013). *Nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của hỗn hợp dầu thực vật – dầu diesel đến áp suất phun nhiên liệu của động cơ diesel Hanshin 6LU32*. Tạp chí Khoa học – Công nghệ Hàng hải số 36. ISSN 1859-316X.
- [2] ThS Nguyễn Đức Hạnh, PGS. TSKH. Đặng Văn Uy, PGS. TS. Nguyễn Đại An (tháng 10/2014). *Nghiên cứu ảnh hưởng của hỗn hợp dầu thực vật – dầu diesel đến lưu lượng phun nhiên liệu vào động cơ diesel Hanshin 6LU32*. Tạp chí Cơ khí Việt Nam, số đặc biệt. ISSN 0866-7056.
- [3] ThS Nguyễn Đức Hạnh, PGS. TSKH. Đặng Văn Uy, PGS. TS. Nguyễn Đại An, (tháng 4/2015). *Nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của hỗn hợp dầu thực vật – dầu diesel đến trạng thái kỹ thuật của bơm cao áp và vòi phun động cơ diesel Hanshin 6LU32*. Tạp chí Khoa học – Công nghệ Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội số 27. ISSN 1859-3585.
- [4] MSc Nguyen Duc Hanh, Prof., Dr Nguyen Dai An, Prof., Dr. Dang Van Uy (July/2017). *A study on the applicability of biofuel for the small marine diesel engines in Vietnam conditions*. Tạp chí Khoa học – Công nghệ Xây dựng số 4. ISSN 1859-2996.
- [5] Prof., DSc. Dang Van Uy, Prof., Dr Nguyen Dai An, MSc Nguyen Duc Hanh (Oct.17-19/2018, Barcelona, Spain). *An optimization of marine diesel engine operation parameters when using a mixed fuel (DO and palm oil) as alternative fuel*. IAMU 2018, 19th Annual General Assembly – AGA, of the International Association of Maritime Universities (IAMU).
- [6] Dang Van Uy, Nguyen Dai An, Tran The Nam (2015), *A Study on Combustion of Blended Straight Vegetable Oil in Marine Diesel Engine*, Journal of Korean Society of Marine Engineering (South Korea), No 29(8).
- [7] Nguyễn Đức Hạnh, Đặng Văn Uy, Nguyễn Đại An. *Ứng dụng CFD tính toán mô phỏng số quá trình hòa trộn - cháy trong động cơ diesel thủy khí sử dụng nhiên liệu hỗn hợp (dầu DO - dầu cọ) làm nhiên liệu thay thế*. Tạp chí KHKT Thủy lợi và Môi trường số đặc biệt tháng 10 năm 2019. ISSN 1859-3941.
- [8] MSc Nguyen Duc Hanh, Prof., Dr Nguyen Dai An, Prof., Dr. Dang Van Uy. *Simulation of fluid dynamics through nozzles into marine diesel engine combustion chamber using the mixture fuel oil (diesel oil and palm oil) as an alternative one by Fluent-Ansys software*. 30th International Symposium on Transport Phenomena, Vinpearl Halong Bay Resort | 1-3 November 2019.

Tôi hoàn toàn đồng ý cho NCS. **Nguyễn Đức Hạnh** – Trường Đại học Hàng hải Việt Nam được sử dụng nội dung các bài báo khoa học nói trên vào mục đích viết và báo cáo luận án tiến sĩ của NCS ở các cấp.

XÁC NHẬN CỦA TRƯỜNG ĐH
HÀNG HẢI VIỆT NAM



HIỆU TRƯỞNG

PGS.TS. *Phạm Xuân Dương*

Hải Phòng, ngày 04 tháng 11 năm 2019
NGƯỜI XÁC NHẬN

Quang

Nguyễn Đại An

Hải Phòng, ngày 17 tháng 5 năm 2018

QUYẾT ĐỊNH
Về việc thành lập Hội đồng nghiệm thu đề tài NCKH cấp Trường
năm học 2017 -2018

HIỆU TRƯỞNG TRƯỜNG ĐẠI HỌC HÀNG HẢI VIỆT NAM

Căn cứ Quyết định 70/2014/QĐ-TTg ngày 10/12/2014 của Thủ tướng Chính phủ ban hành Điều lệ trường đại học;

Căn cứ Quyết định 2136/QĐ-ĐH-HH-VN ngày 10/10/2016 của Hiệu trưởng Trường ĐHHH Việt Nam về việc ban hành Quy chế tổ chức và hoạt động của Trường Đại học Hàng hải Việt Nam;

Căn cứ Quyết định 1333/QĐ-ĐH-HH-VN ngày 25/7/2017 của Hiệu trưởng Trường Đại học Hàng hải Việt Nam về việc Ban hành “Quy định hoạt động KHCN của Trường Đại học Hàng hải Việt Nam”;

Căn cứ Quyết định 1853/QĐ-ĐH-HH-VN-KHCN ngày 16/10/2017 của Hiệu trưởng Trường Đại học Hàng hải Việt Nam về việc giao đề tài NCKH cấp Trường năm học 2017-2018 cho các đơn vị;

Theo đề nghị của Trường Phòng Khoa học - Công nghệ,

QUYẾT ĐỊNH:

Điều 1. Thành lập Hội đồng Khoa học đánh giá nghiệm thu đề tài NCKH cấp trường năm học 2017-2018: *“Đánh giá ảnh hưởng của nhiên liệu hỗn hợp diesel - dầu thực vật (dầu cọ) đến sự ăn mòn, ô xy hóa và làm hư hỏng các chi tiết kim loại, phi kim loại trong hệ thống nhiên liệu của động cơ diesel 6LU32”*, do ThS. Nguyễn Đức Hạnh thực hiện; ThS. Lương Duy Đông tham gia, gồm các thành viên sau:

TT	Họ và tên	Chức vụ, đơn vị	Chức danh Hội đồng
1.	TS. Nguyễn Trí Minh	Trưởng Khoa, Khoa MTB	Chủ tịch HĐ
2.	TS. Trần Thế Nam	Phó trưởng Phòng QHQT	Ủy viên
3.	ThS. Hoàng Văn Mười	GV, Khoa MTB	Ủy viên, PB
4.	ThS. Mai Thế Trọng	GV, Khoa MTB	Ủy viên, PB
5.	ThS. Phạm Văn Linh	GV, Khoa MTB	Ủy viên, TK

Điều 2. Hội đồng Khoa học có nhiệm vụ tổ chức đánh giá đề tài theo quy định hiện hành của Nhà nước và Bộ Giao thông vận tải.

Điều 3. Trưởng các Phòng: TC-HC, KH-CN, KH-TC, thành viên Hội đồng, Chủ nhiệm đề tài và các đơn vị liên quan chịu trách nhiệm thi hành Quyết định này. /

Nơi nhận:

- Như điều 3;
- Lưu: VT, KH-CN.

TRƯỜNG ĐẠI HỌC HÀNG HẢI VIỆT NAM
Ký hiệu Trưởng
Phó hiệu trưởng
PGS.TS. *Phạm Xuân Dương*

Số: 880 /QĐ-ĐHHHVN-KHCN

Hải Phòng, ngày 21 tháng 5 năm 2019

QUYẾT ĐỊNH
Về việc thành lập Hội đồng nghiệm thu đề tài NCKH cấp Trường
năm học 2018 - 2019

HIỆU TRƯỞNG TRƯỜNG ĐẠI HỌC HÀNG HẢI VIỆT NAM

Căn cứ Quyết định 70/2014/QĐ-TTg ngày 10/12/2014 của Thủ tướng Chính phủ ban hành Điều lệ trường đại học;

Căn cứ Quyết định 2136/QĐ-ĐHHHVN ngày 10/10/2016 của Hiệu trưởng Trường ĐHHH Việt Nam về việc ban hành Quy chế tổ chức và hoạt động của Trường Đại học Hàng hải Việt Nam;

Căn cứ Quyết định 1333/QĐ-ĐHHHVN ngày 25/7/2017 của Hiệu trưởng Trường Đại học Hàng hải Việt Nam về việc Ban hành “Quy định hoạt động KHCN của Trường Đại học Hàng hải Việt Nam”;

Căn cứ Quyết định 2142/QĐ-ĐHHHVN-KHCN ngày 06/11/2018 của Hiệu trưởng Trường Đại học Hàng hải Việt Nam về việc Phê duyệt kinh phí và giao thực hiện đề tài NCKH cấp Trường năm học 2018 - 2019 cho các đơn vị;

Theo đề nghị của Trường Phòng Khoa học - Công nghệ,

QUYẾT ĐỊNH:

Điều 1. Thành lập Hội đồng Khoa học đánh giá nghiệm thu đề tài NCKH cấp trường năm học 2018 - 2019: “*Tối ưu hóa các thông số công tác của động cơ diesel tàu thủy khi sử dụng nhiên liệu hỗn hợp dầu DO – dầu Cọ làm nhiên liệu thay thế*”, do ThS. Nguyễn Đức Hạnh thực hiện; ThS. Dương Phan Anh tham gia, gồm các thành viên sau:

TT	Họ và tên	Chức vụ, đơn vị	Chức danh Hội đồng
1.	TS. Nguyễn Trí Minh	Trưởng Khoa MTB	Chủ tịch HĐ
2.	PGS.TS. Trương Văn Đạo	GĐ Trung tâm TNTH, Khoa MTB	Ủy viên
3.	ThS. Phạm Văn Triệu	CV, Viện NCKH&CNHH	Ủy viên, PB
4.	ThS. Mai Thế Trọng	GV, Khoa MTB	Ủy viên, PB
5.	ThS. Vũ Đức Năng	GV, Khoa MTB	Ủy viên, TK

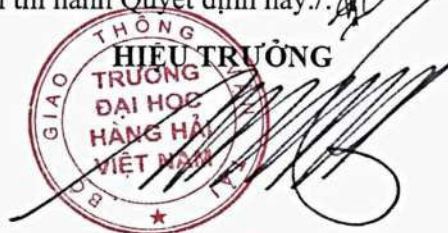
Điều 2. Hội đồng Khoa học có nhiệm vụ tổ chức đánh giá đề tài theo quy định hiện hành của Nhà nước và Bộ Giáo thông vận tải.

Điều 3. Trường các Phòng: TC-HC, KH-CN, KH-TC; thành viên Hội đồng, Chủ nhiệm đề tài và các đơn vị liên quan chịu trách nhiệm thi hành Quyết định này./.

Nơi nhận:

- Như Điều 3;

- Lưu: VT, KH-CN.


PGS.TS. Phạm Xuân Dương

Số: 32 /BQL-TURNITIN/KQKT

KẾT QUẢ KIỂM TRA CHỐNG SAO CHÉP

Họ và tên học Nghiên cứu sinh: **Nguyễn Đức Hạnh**

Khoa/ Viện: **Viện Đào tạo Sau Đại học**

Tên Luận văn/ Đồ án/Khóa luận tốt nghiệp:

“Nghiên cứu ảnh hưởng của hỗn hợp nhiên liệu dầu thực vật – diesel đến phun nhiên liệu, tạo hỗn hợp, cháy và tính năng của động cơ diesel tàu thủy”

Người hướng dẫn:

1. PGS.TSKH Đặng Văn Uy 2. PGS.TS Nguyễn Đại An

Người kiểm tra: **Trần Long Giang**

Ngày kiểm tra: **19/10/2019**

ID kiểm tra: **1195861779**

KẾT QUẢ KIỂM TRA

Tỷ lệ sao chép	Nguồn internet	Nguồn xuất bản	Nguồn luận văn/đề tài
23%	7%	3%	23%

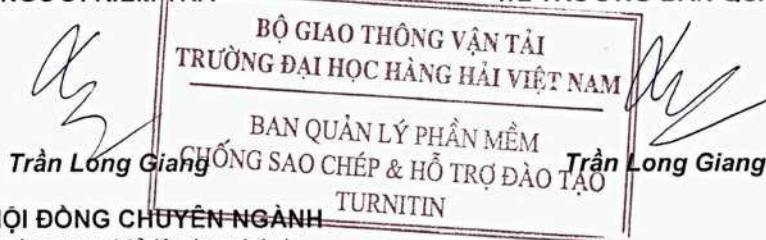
Kết luận/ Kiến nghị:

- ☒ Đảm bảo tỷ lệ cho phép.
- ☐ Vượt tỷ lệ cho phép, đề nghị Hội đồng chuyên ngành thẩm định lại luận văn và kết luận cho bảo vệ hay không cho bảo vệ.

Hải Phòng, ngày 19 tháng 10 năm 2019

NGƯỜI KIỂM TRA

T/L TRƯỞNG BAN QUẢN LÝ



Ý KIẾN HỘI ĐỒNG CHUYÊN NGÀNH
(trường hợp vượt tỷ lệ cho phép)