

ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA
KHOA CƠ KHÍ GIAO THÔNG

CAPSTONE PROJECT
- ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP
NGÀNH: KỸ THUẬT CƠ KHÍ

ĐỀ TÀI:

THIẾT KẾ HỆ THỐNG CHỮA CHÁY
BẰNG NƯỚC/BỘT DỰA TRÊN XE CƠ SỞ
MERCEDES-BENZ ACTROS 3358-6x4

Giảng viên hướng dẫn: **PGS TS. LÊ MINH ĐỨC**

Giảng viên phản biện: **TS. NGUYỄN QUANG TRUNG**

Sinh viên thực hiện:

NGUYỄN VIỆT HOÀNG	(103200119)	Lớp: 20C4CLC2
HỒ NHẬT QUANG	(103200134)	Lớp: 20C4CLC2
HÀ THANH TUẤN	(103200142)	Lớp: 20C4CLC2
ĐINH VĂN TIẾN ĐẠT	(103200148)	Lớp: 20C4CLC3

Đà Nẵng, 06/2025

ĐỀ CƯƠNG ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP
NGÀNH: KỸ THUẬT CƠ KHÍ-CHUYÊN NGÀNH CƠ KHÍ ĐỘNG LỰC

TT	Họ tên sinh viên	Số thẻ SV	Lớp	Ngành
1	Nguyễn Việt Hoàng	103200119	20C4CLC2	Kỹ thuật Cơ khí
2	Hồ Nhật Quang	103200134	20C4CLC2	Kỹ thuật Cơ khí
3	Hà Thanh Tuấn	103200142	20C4CLC2	Kỹ thuật Cơ khí
4	Đinh Văn Tiến Đạt	103200148	20C4CLC3	Kỹ thuật Cơ khí

A. Tên đề tài đồ án:

Thiết kế hệ thống chữa cháy bằng nước/bọt dựa trên xe cơ sở Mercedes-Benz Actros 3358 – 6x4

1. Đề tài thuộc diện: ☐ Có ký kết thỏa thuận sở hữu trí tuệ đối với kết quả thực hiện
2. Các số liệu và dữ liệu ban đầu^[1]:

Số liệu kỹ thuật	Chassis	
	Nhà sản xuất	MERCEDES BENZ
	Loại	ACTROS 3358 6x4 / 45
	Truyền động	6x4
	Trục	3
	Chiều dài cơ sở	4500 + 1450 mm
	Động cơ	
	Loại động cơ	V8 - Động cơ Diesel
	Công suất	425 kW / 578 HP tại 1800 vòng/phút
	Mô-men	2700 Nm tại 1080 vòng/phút
	Hệ thống điện	
	Điện áp	24V
	Ắc qui	2x12 V / 220 Ah
Cấu trúc chữa cháy	Cấu trúc	
	Nhà sản xuất	ALBERT ZIEGLER GmbH & Co. KG

	Loại	SLF 100/25-65
	Đội công tác	1 - 5 người
	Bơm	FPN 10 - 10000 - 1H
	Chất chữa cháy	
	Nước	2.500 l
	Bọt	6.500 l
	Lăng phun	
	Loại	Lăng phun nước/bọt ZW 60
	Công suất	6.000 l/phút tại áp lực 10 bar

B. Nội dung các phần thuyết minh và tính toán:

Mở đầu

Chương 1: Tổng quan về phương tiện PCCC

1.1. Đặt vấn đề

1.2. Các phương tiện PCCC hiện nay

Chương 2: Phương án thiết kế hệ thống chữa cháy bằng nước/bọt

2.1. Nhiệm vụ, điều kiện làm việc và yêu cầu của ô tô chữa cháy

2.2. Chọn phương án thiết kế chung

2.3. Thành phần chất chữa cháy và phương án thiết kế xi-téc

2.4. Phương án trích công suất và phương án thiết kế bơm

2.5. Phương án thiết kế lăng phun và hệ thống đường ống

2.6. Phương án điều khiển

Chương 3: Khảo sát và thiết kế cải tạo ô tô cơ sở Mercedes-Benz Actross 3358 - 6x4

3.1. Ô tô cơ sở

3.2. Đặc tính động học của ô tô chữa cháy

3.3. Đặc tính động lực học của ô tô chữa cháy

3.4. Ô tô sau khi cải tạo

3.5. Kiểm tra tính ổn định của chassis ô tô sau khi cải tạo

Chương 4: Thiết kế xi-téc

4.1. Yêu cầu kỹ thuật đối với xi-téc

4.2. Thiết kế xi-téc chứa nước/bọt cô đặc

4.3. Tính toán kiểm tra độ ổn định của xi-téc khi đặt lên chassis

4.4. Kiểm tra bền vỏ xi-téc bằng phương pháp phần tử hữu hạn

Chương 5: Thiết kế bơm chữa cháy

5.1. Nhiệm vụ, kết cấu, yêu cầu kỹ thuật của bơm ly tâm

5.2. Nguyên lý làm việc của bơm ly tâm

5.3. Tính toán thiết kế bơm ly tâm

5.4. Hệ thống TROKOMAT PLUS

5.5. Tính toán trục và ổ lăn

5.6. Tính toán thiết kế bơm dung dịch tạo bọt

Chương 6: Thiết kế hệ thống đường ống và lăng phun

- 6.1. Tổng quan về hệ thống đường ống và lăng phun
- 6.2. Kết nối đường ống với bơm và lăng phun
- 6.3. Giải pháp bảo vệ đường ống
- 6.4. Thiết kế hệ thống đường ống
- 6.5. Thiết kế lăng phun
- 6.6. Hệ thống chia tỷ lệ nước/bọt
- 6.7. Mô phỏng hệ thống hoạt động của bọt chữa cháy bằng Automation Studio

Chương 7: Thiết kế hệ thống điều khiển

- 7.1. Hệ thống điều khiển logic khả trình Programmable Logic Controller (PLC)
- 7.2. Tính toán van điều tiết lưu lượng lăng phun tự động
- 7.3. Điều khiển cơ bản dành cho van
- 7.4. Logic lập trình điều khiển van (Mitsubishi Model FX)
- 7.5. Điều kiện an toàn trong hệ thống điều khiển van
- 7.6. Điều khiển lăng phun tự động
- 7.7. Tính chọn van nạp từ thùng chứa đi vào bơm
- 7.8. Tính chọn van xả tràn cho xi-téc
- 7.9. Tính chọn van cho lăng cầm tay và bộ chia tỷ lệ nước/bọt
- 7.10. Sơ đồ hệ thống điện

Chương 8: Hệ thống hỗ trợ

- 8.1. Hệ thống đèn kiểm soát
- 8.2. Hệ thống công tắc và nút bấm
- 8.3. Hệ thống đồng hồ chỉ thị
- 8.4. Lưu ý

Chương 9: Bảo trì và bảo dưỡng hệ thống trên ô tô chữa cháy

- 9.1. Yêu cầu về an toàn khi bảo trì và bảo dưỡng
- 9.2. Bảo trì và bảo dưỡng

Kết luận.

C. Phân công nhiệm vụ

a. Phần chung:

TT	Họ tên sinh viên	Nội dung
1	Nguyễn Việt Hoàng	- Tổng quan về phương tiện PCCC - Phương án thiết kế hệ thống chữa cháy bằng nước/bọt
2	Hà Thanh Tuấn	- Khảo sát và thiết kế cải tạo ô tô cơ sở Mercedes-Benz Actross 3358 - 6x4
3	Hồ Nhật Quang	- Phương án thiết kế hệ thống chữa cháy bằng nước/bọt - Hệ thống hỗ trợ
4	Đinh Văn Tiến Đạt	- Bảo trì và bảo dưỡng hệ thống trên ô tô chữa cháy

b. Phần riêng:

TT	Họ tên sinh viên	Nội dung
1	Nguyễn Việt Hoàng	Thiết kế xi-téc
2	Hồ Nhật Quang	Thiết kế bơm chữa cháy
3	Hà Thanh Tuấn	Thiết kế hệ thống đường ống, lăng phun
4	Đinh Văn Tiến Đạt	Thiết kế hệ thống điều khiển

D. Các bản vẽ, đồ thị (Các bản vẽ A3, phải được thực hiện theo đúng quy định về tiêu chuẩn bản vẽ kỹ thuật cơ khí)

a. Phần chung:

TT	Họ tên sinh viên	Nội dung
1	Nguyễn Việt Hoàng	- Bản vẽ A3 bố trí chi tiết trên ô tô chữa cháy
2	Hà Thanh Tuấn	- Bản vẽ A3 thiết kế lại chassis xe
3	Hồ Nhật Quang	- Bản vẽ A3 sơ đồ hệ thống (điện, đường ống)
4	Đinh Văn Tiến Đạt	

b. Phần riêng:

TT	Họ tên sinh viên	Nội dung
1	Nguyễn Việt Hoàng	- Bản vẽ A3 chi tiết xitec chứa nước - Bản vẽ A3 chi tiết xitec chứa bột - Bản vẽ A3 chi tiết khớp nối đường ống - Bản vẽ A3 thiết bị chia tỷ lệ nước/bột
2	Hồ Nhật Quang	- Bản vẽ A3 lắp bơm ly tâm - Bản vẽ A3 lắp bơm bột - Bản vẽ A3 lắp hệ thống TROKOMAT PLUS - Bản vẽ A3 lắp trục bơm - Bản vẽ A3 chi tiết bánh răng bị động - Bản vẽ A3 chi tiết bánh răng chủ động - Bản vẽ chi tiết cánh bơm ly tâm - Bản vẽ chi tiết vỏ bơm ly tâm
3	Hà Thanh Tuấn	- Bản vẽ A3 sơ đồ đường ống - Bản vẽ A3 lắp lăng phun - Bản vẽ chi tiết ống cong giá đỡ lăng cố định - Bản vẽ chi tiết ống cong dẫn phun lăng cố định
4	Đinh Văn Tiến Đạt	- Bản vẽ A3 sơ đồ hệ thống điều khiển - Bản vẽ A3 sơ đồ hệ thống điện - Bản vẽ A3 sơ đồ thuật toán

E. Tài liệu tham khảo

[1] Tài liệu hướng dẫn vận hành “Xe chữa cháy bằng bột SLF 100/25 - 65”.

Đà Nẵng, ngày ... tháng ... năm 202...

GIẢNG VIÊN HƯỚNG DẪN

(Ký, ghi rõ họ tên)

SINH VIÊN THỰC HIỆN

(Ký, ghi rõ họ tên)

.....

.....

THÔNG QUA BỘ MÔN

Ngày tháng năm 202...

TÓM TẮT

Tên đề tài: Thiết kế hệ thống chữa cháy bằng nước/bọt dựa trên xe cơ sở Mercedes-Benz Actros 3358-6x4.

Nhóm sinh viên thực hiện:

Nguyễn Việt Hoàng	MSSV: 103200119	Lớp: 20C4CLC2
Hồ Nhật Quang	MSSV: 103200134	Lớp: 20C4CLC2
Hà Thành Tuấn	MSSV: 103200142	Lớp: 20C4CLC2
Đinh Văn Tiến Đạt	MSSV: 103200148	Lớp: 20C4CLC3

Đề tài tập trung nghiên cứu và thiết kế một hệ thống chữa cháy tích hợp trên nền tảng của xe cơ sở Mercedes-Benz Actros, nhằm mục tiêu nâng cao tính cơ động, hiệu quả cho công tác phòng cháy chữa cháy (PCCC) tại các khu vực sân bay, nhà máy, khu công nghiệp.

Nội dung chính bao gồm khảo sát xe cơ sở phù hợp (về tải trọng, kết cấu khung gầm, động cơ...), thiết kế các hệ thống chính như: bồn chứa nước, hệ thống bơm áp lực, ống dẫn, vòi phun, hệ thống điều khiển và thiết bị hỗ trợ. Bên cạnh đó, đề tài cũng phân tích các yêu cầu kỹ thuật và tiêu chuẩn an toàn đối với phương tiện chữa cháy chuyên dụng.

LỜI NÓI ĐẦU

Năm 2024, toàn quốc xảy ra 4112 vụ cháy, làm chết 100 người, làm bị thương 89 người, về tài sản ước tính sơ bộ thành tiền khoảng 657,45 tỷ đồng và 637,08 ha rừng. Trong đó, có 48 vụ cháy lớn và 51 vụ cháy gây thiệt hại nghiêm trọng về người làm 99 người chết, 89 người bị thương. Xảy ra 22 vụ nổ, làm chết 09 người, bị thương 26 người.

Lực lượng Cảnh sát PCCC và Công an các địa phương đã xuất 14797 lượt phương tiện và 75663 lượt CBCS tổ chức chữa cháy 3319/4112 vụ cháy, nổ. Hướng dẫn thoát nạn cho hàng trăm người bị mắc kẹt ra nơi an toàn, trực tiếp cứu được 477 người trong các vụ cháy, tổ chức di chuyển tài sản và cứu được tài sản trị giá khoảng 132,7 tỷ đồng trong các vụ cháy. Trực tiếp tham gia 1802 vụ cứu nạn, cứu hộ và hàng trăm vụ cứu nạn, cứu hộ trong đám cháy. Tổ chức cứu được 5571 người và tìm được 882 thi thể bàn giao cho cơ quan chức năng xử lý.

Theo những số liệu thống kê trên, việc phát triển công tác PCCC là rất cần thiết đối với một thành phố lớn và đặc biệt hơn nữa là việc trang bị các phương tiện tối tân cũng như các trang thiết bị phục vụ công tác PCCC cho các cơ quan chuyên ngành. Một trong những phương tiện giữ vai trò quan trọng và chủ đạo hỗ trợ công tác PCCC là xe chữa cháy.

Nhận thấy được tầm quan trọng và tính thực tiễn của xe chữa cháy, nhóm quyết định thực hiện đồ án tốt nghiệp (Capstone Project) với đề tài “Thiết kế hệ thống chữa cháy bằng nước/bọt dựa trên xe cơ sở Mercedes-Benz Actros 3358-6x4”. Thuyết minh và bản vẽ là kết quả của quá trình học tập, tìm hiểu và nghiên cứu chuyên sâu về đề tài thông qua những tài liệu chuyên ngành và những quy chuẩn, tiêu chuẩn vận hành trong hệ thống giao thông đường bộ Việt Nam. Nội dung báo cáo bao gồm các hoạt động nghiên cứu và tính toán lý thuyết, các kết quả đạt được, và những kinh nghiệm thực tế quý báu có được trong quá trình thực hiện đồ án tốt nghiệp.

LỜI CẢM ƠN

Để hoàn thành tốt Capstone Project, nhóm đã nhận được rất nhiều sự giúp đỡ, hỗ trợ. Nhóm xin gửi lời cảm ơn chân thành đến tất cả những người đã góp phần giúp đỡ, hỗ trợ nhóm trong quá trình thực hiện đồ án tốt nghiệp.

Trước tiên, nhóm xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc đến hội đồng giám khảo bảo vệ đồ án của Khoa Cơ khí Giao thông, Trường Đại học Bách Khoa Đà Nẵng đã thông qua đề cương chi tiết và tạo điều kiện để nhóm được thực hiện đồ án tốt nghiệp.

Đặc biệt, nhóm xin cảm ơn giảng viên hướng dẫn PGS.TS. Lê Minh Đức, người đã trực tiếp hướng dẫn và định hướng chuyên môn cho nhóm trong từng công việc, từ những thao tác cơ bản đến những công việc chuyên sâu trong suốt quá trình thực hiện đề tài. Sự chỉ bảo tận tình của thầy đã giúp nhóm hiểu rõ hơn về kiến thức thực tiễn cũng như nâng cao kỹ năng trong công việc.

Nhóm cũng xin gửi lời cảm ơn đến các giảng viên tại Trường Đại học Bách Khoa Đà Nẵng đã truyền đạt kiến thức trong suốt quá trình học tại trường.

Nhóm xin trân trọng cảm ơn!

MỤC LỤC

ĐỀ CƯƠNG ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

TÓM TẮT

LỜI NÓI ĐẦU	i
LỜI CẢM ƠN	ii
MỤC LỤC	iii
DANH SÁCH CÁC BẢNG BIỂU, HÌNH VẼ VÀ ĐỒ THỊ	ix
DANH SÁCH CÁC KÝ HIỆU, CHỮ VIẾT TẮT	xv

MỞ ĐẦU	1
--------------	---

Chương 1: TỔNG QUAN VỀ PHƯƠNG TIỆN PCCC	2
--	---

1.1. Đặt vấn đề	2
------------------------------	---

1.2. Các phương tiện PCCC hiện nay	2
---	---

1.2.1. Điều kiện làm việc của phương tiện PCCC	3
--	---

1.2.2. Yêu cầu của phương tiện PCCC	4
---	---

1.2.3. Các loại xe chữa cháy	4
------------------------------------	---

1.2.4. Yêu cầu đối với khung gầm xe cứu hỏa	8
---	---

Chương 2: PHƯƠNG ÁN THIẾT KẾ HỆ THỐNG CHỮA CHÁY BẰNG NƯỚC/BỌT	10
--	----

2.1. Nhiệm vụ, điều kiện làm việc và yêu cầu của ô tô chữa cháy	10
--	----

2.1.1. Nhiệm vụ	10
-----------------------	----

2.1.2. Điều kiện làm việc	10
---------------------------------	----

2.1.3. Yêu cầu	10
----------------------	----

2.2. Chọn phương án thiết kế chung	11
---	----

2.3. Thành phần chất chữa cháy và phương án thiết kế xi-téc	16
--	----

2.3.1. Thành phần chất chữa cháy	16
--	----

2.3.2. Phương án thiết kế xi-téc	16
--	----

2.4. Phương án trích công suất và phương án thiết kế bơm	18
---	----

2.4.1. Phương án trích công suất và phương thiết kế bơm nước	18
--	----

2.4.2. Phương án trích công suất và phương án thiết kế bơm dung dịch tạo bọt ^[11]	24
--	----

2.5. Phương án thiết kế lăng phun và hệ thống đường ống	28
--	----

2.5.1. Yêu cầu kỹ thuật đối với hệ thống đường ống và lăng phun	28
---	----

2.5.2. Phương án thiết kế hệ thống đường ống.....	28
2.5.3. Lựa chọn phương án thiết kế lăng phun	36
2.6. Phương án điều khiển	38
2.6.1. Phương án điều khiển bơm.....	38
2.6.2. Phân tích và lựa chọn phương án thiết kế hệ thống điều khiển lăng phun.....	41
Chương 3: KHẢO SÁT VÀ THIẾT KẾ CẢI TẠO Ô TÔ CƠ SỞ MERCEDES- BENZ ACTROSS 3358 - 6x4	46
3.1. Ô tô cơ sở	46
3.2. Đặc tính động học của ô tô chữa cháy	47
3.2.1. Tọa độ trọng tâm ô tô theo chiều dọc chassis.....	47
3.2.2. Tọa độ trọng tâm theo chiều cao xe.....	47
3.3. Đặc tính động lực học của ô tô chữa cháy	48
3.3.1. Công suất động cơ	49
3.3.2. Mô-men xoắn trên trục khuỷu động cơ	49
3.3.3. Tốc độ di chuyển của ô tô.....	49
3.3.4. Lực kéo trên bánh xe chủ động	49
3.3.5. Lực cản không khí khi ô tô di chuyển	49
3.3.6. Lực cản tổng hợp	50
3.3.7. Xác định nhân tố động lực của ô tô.....	50
3.3.8 Xác định thời gian tăng tốc của ô tô.....	50
3.3.9 Xác định quãng đường tăng tốc của ô tô	50
3.3.10. Kết quả tính toán	51
3.4. Ô tô sau khi cải tạo	55
3.4.1. Bố trí chung sau khi cải tạo	55
3.4.2. Đặc tính kỹ thuật của ô tô sau khi cải tạo.....	55
3.5. Kiểm tra tính ổn định của chassis ô tô sau khi cải tạo	59
Chương 4: THIẾT KẾ XI-TÉC	61
4.1. Yêu cầu kỹ thuật đối với xi-téc	61
4.1.1. Cấu tạo chung	61
4.1.2. Yêu cầu	61
4.2. Thiết kế xi-téc chứa nước/bọt cô đặc	62
4.2.1. Chọn vật liệu chế tạo	62
4.2.2. Kích thước kỹ thuật	62

4.2.3. Mô tả kết cấu xi-téc	62
4.3. Tính toán kiểm tra độ ổn định của xi-téc khi đặt lên chassis	63
4.4. Kiểm tra bền vỏ xi-téc bằng phương pháp phân tích phần tử hữu hạn.....	64
4.4.1. Cơ sở lý thuyết.....	64
4.4.2. Phân tích điều kiện biên trong bài toán mô phỏng	64
4.4.3. Thiết lập mô hình bài toán phân tích độ bền của vỏ xi-téc chứa bột cô đặc	64
4.4.4. Thiết lập mô hình bài toán phân tích độ bền của vỏ xi-téc chứa nước.....	73
Chương 5: THIẾT KẾ BƠM CHỮA CHÁY	81
5.1. Nhiệm vụ, kết cấu, yêu cầu kỹ thuật của bơm ly tâm	81
5.1.1. Nhiệm vụ	81
5.1.2. Kết cấu.....	81
5.1.3. Yêu cầu kỹ thuật.....	83
5.2. Nguyên lý làm việc của bơm ly tâm	84
5.3. Tính toán thiết kế bơm ly tâm	85
5.3.1. Thông số ban đầu.....	85
5.3.2. Tính toán thiết kế bộ trích công suất cho bơm ly tâm	86
5.3.3. Bánh công tác bơm ly tâm.....	87
5.3.4. Hiệu suất và công suất của bơm	89
5.3.5. Tính toán các kích thước chính của bánh công tác	90
5.3.6. Tính toán chiều dày bánh công tác tại mép vào và mép ra	94
5.3.7. Tính kiểm nghiệm ^[12]	95
5.3.8. Xây dựng tiết diện kinh tuyến bánh công tác sơ bộ	98
5.3.9. Thiết kế phần dẫn dòng ra kiểu buồng xoắn	101
5.3.10. Lựa chọn vật liệu thiết kế bơm	106
5.3.11. Tiêu chuẩn quốc gia và vận hành bơm ly tâm.....	107
5.4. Hệ thống TROKOMAT PLUS	108
5.4.1. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động	108
5.4.2. Vận hành hệ thống TROKOMAT PLUS	110
5.5. Tính toán trục và ổ lăn	110
5.5.1. Chọn vật liệu, đường kính trục	110
5.5.2. Chọn chiều dài từ các đoạn trục	110
5.5.3. Các lực tác dụng lên trục	112
5.5.4. Tính chọn ổ lăn.....	113

5.6. Tính toán thiết kế bơm dung dịch tạo bọt.....	115
5.6.1. Nhiệm vụ, cấu tạo và nguyên lý hoạt động	115
5.6.2. Lựa chọn bơm tham khảo	118
5.6.3. Lựa chọn máy phát điện cho bơm dung dịch tạo bọt	119
5.6.4. Thông số dung dịch tạo bọt	120
5.6.5. Tính toán thiết kế bơm bọt	121
5.6.6. Chọn vật liệu thiết kế bơm dung dịch tạo bọt	122
5.6.7 Tiêu chuẩn quốc gia bơm dung dịch tạo bọt	124
Chương 6: THIẾT KẾ HỆ THỐNG ĐƯỜNG ỐNG VÀ LĂNG PHUN.....	125
6.1. Tổng quan về hệ thống đường ống và lăng phun	125
6.1.1. Lăng phun	126
6.1.2. Đường ống	128
6.2. Kết nối đường ống với bơm và lăng phun	129
6.3. Giải pháp bảo vệ đường ống.....	131
6.4. Thiết kế hệ thống đường ống.....	132
6.4.1. Lựa chọn vật liệu ống	132
6.4.2. Xác định đường kính và độ dày của ống nước	133
6.4.3. Xác định đường kính và độ dày của ống foam.....	134
6.5. Thiết kế lăng phun	136
6.5.1. Nguyên lý hoạt động của lăng phun	136
6.5.2. Phân loại lăng phun (lăng cố định, lăng cầm tay, lăng xoay,...)	137
6.5.3. Tính toán kết cấu vòi phun nước chữa cháy cố định.....	138
6.5.4. Thiết kế kết cấu vòi phun nước chữa cháy di động.....	141
6.5.5. Tính toán vùng phủ bọt của lăng phun cố định	143
6.6. Hệ thống chia tỷ lệ nước/bọt.....	144
6.6.1. Cấu tạo bộ chia tỷ lệ nước/bọt.....	144
6.6.2. Nguyên lý hoạt động	145
6.6.3. Thiết kế bộ chia tỷ lệ bọt AFFF 3% cho hệ thống xe chữa cháy	145
6.7. Mô phỏng hệ thống hoạt động của bọt chữa cháy bằng Automation Studio	147
6.7.1. Mục tiêu mô phỏng.....	147
6.7.2. Cấu hình mô phỏng hệ thống.....	148
6.7.3. Nguyên lý hoạt động của từng cụm chức năng	148
6.7.4. Nhận xét và đánh giá mô phỏng	153

Chương 7: THIẾT KẾ HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN	154
7.1. Hệ thống điều khiển logic khả trình Programmable Logic Controller (PLC)	154
7.1.1. Định nghĩa	154
7.1.2. Cấu tạo.....	154
7.1.3. Phân loại bộ điều khiển PLC	155
7.1.4. Nguyên lý hoạt động	156
7.1.5. Ưu nhược điểm của Bộ điều khiển PLC.....	156
7.2. Tính toán van điều tiết lưu lượng lăng phun tự động	157
7.2.1. Tổn thất áp suất:	157
7.2.2. Tổn thất lưu lượng	158
7.2.3. Lựa chọn van thiết kế	160
7.3. Điều khiển cơ bản dành cho van	161
7.3.1. Giới thiệu cơ bản về module chữa cháy	161
7.3.2. Cấu trúc hệ thống điều khiển.....	162
7.3.3. Nguyên lý hoạt động	162
7.4. Logic lập trình điều khiển van (Mitsubishi Model FX)	163
7.4.1. Các tín hiệu điều khiển trong hệ thống và vai trò	163
7.4.2. Logic điều khiển cơ bản	164
7.4.3. Thuật toán điều khiển van bướm bằng PLC	165
7.4.4. Lập trình trên GX Works2	167
7.5. Điều kiện an toàn trong hệ thống điều khiển van.....	173
7.5.1. Giám sát tín hiệu cảm biến (mất tín hiệu)	173
7.5.2. Giới hạn áp suất làm việc	174
7.5.3. Kiểm tra trạng thái van	174
7.5.4. Bố trí van an toàn khi van bướm bị quá tải	175
7.6. Điều khiển lăng phun tự động	175
7.6.1. Mục tiêu điều khiển	175
7.6.2. Yêu cầu kỹ thuật	176
7.6.3. Thiết bị điều khiển lăng phun	176
7.6.4. Phân tích tín hiệu trong hệ thống điều khiển góc quay	177
7.6.5. Cấu hình tín hiệu PLC	178
7.6.6. Thuật toán điều khiển	180

7.6.7. Lập trình trên GX Works2	183
7.6.8. Kết quả mô phỏng	194
7.6.9. Kết luận.....	199
7.6.10. Tính chọn động cơ điện và hộp giảm tốc	200
7.7. Tính chọn van nạp từ thùng chứa đi vào bơm.....	202
7.7.1. Tính toán chọn van nạp	202
7.7.2. Phương án chọn van nạp	203
7.8. Tính chọn van xả tràn cho xi-téc.....	206
7.8.1. Yêu cầu kỹ thuật	206
7.8.2. Tính toán chọn van xả tràn cho xi-téc	206
7.9. Chọn van cho lăng cầm tay và bộ chia tỷ lệ nước/bột.....	207
7.9.1. Nguyên lý hoạt động	207
7.9.2. Chọn van cho lăng cầm tay và bộ chia tỷ lệ bột/nước.....	209
7.9.3. Phân tích lựa chọn van ON/OFF	209
7.10. Sơ đồ hệ thống điện	210
Chương 8: HỆ THỐNG HỖ TRỢ	213
8.1. Hệ thống đèn kiểm soát.....	213
8.2. Hệ thống công tắc và nút bấm	214
8.3. Hệ thống đồng hồ chỉ thị.....	218
8.4. Lưu ý	219
Chương 9: BẢO TRÌ VÀ BẢO DƯỠNG HỆ THỐNG TRÊN Ô TÔ CHỮA CHÁY	220
9.1. Yêu cầu về an toàn khi bảo trì và bảo dưỡng	220
9.1.1. Thông tin chung.....	220
9.1.2. Các biện pháp an toàn.....	220
9.2. Bảo trì và bảo dưỡng.....	221
9.2.1. Công việc trước khi bảo dưỡng	221
9.2.2. Bảo dưỡng chassis và xi-téc	221
9.2.3. Bảo trì và bảo dưỡng bơm.....	221
KẾT LUẬN	223
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	227

DANH SÁCH CÁC BẢNG BIỂU, HÌNH VẼ VÀ ĐỒ THỊ

❖ BẢNG BIỂU

Bảng 2.1. Một số bột chữa cháy thông dụng	16
Bảng 2.2. Hình dạng mặt cắt xi-téc	16
Bảng 2.3. Các loại bơm thông dụng	20
Bảng 2.4. Thông số kỹ thuật bơm FNP 10-10000-1H	24
Bảng 2.5. Phương án trích công suất bơm dung dịch tạo bọt.....	25
Bảng 2.6. Phương án bố trí máy phát điện	25
Bảng 2.7. Phân loại bơm dung dịch bọt cô đặc	26
Bảng 2.8. Phân loại bánh răng bơm.....	27
Bảng 2.9. Phương án thiết kế lăng phun.....	36
Bảng 3.1. Thông số chung của MERCEDES-BENZ ACTROSS 3358	46
Bảng 3.2. Tải trọng phân bố lên mỗi cầu	47
Bảng 3.3. Tải trọng phân bố theo độ cao.....	47
Bảng 3.4. Thông số kỹ thuật chung, động cơ, hộp số	48
Bảng 3.5. Mô-men và công suất của động cơ	51
Bảng 3.6. Đặc tính kỹ thuật.....	55
Bảng 4.1. Vật liệu chế tạo xi-téc	62
Bảng 4.2. Dung tích và kích thước cho xi-téc	62
Bảng 4.3. Thông số tính toán môi lấp	63
Bảng 4.4. Thông số kỹ thuật mô hình FE của xi-téc chứa bọt cô đặc.....	66
Bảng 4.5. Thông số kỹ thuật vật liệu chế tạo xi-téc chứa bọt cô đặc	66
Bảng 4.6. Thông số kỹ thuật mô hình FE của xi-téc chứa bọt cô đặc.....	74
Bảng 5.1. Các thông số của bánh công tác sau khi đã tính toán.....	97
Bảng 5.2. Sự thay đổi vận tốc kinh tuyến theo r	99
Bảng 5.3. Tiết diện kinh tuyến của bánh công tác	100
Bảng 5.4. Phân loại buồng xoắn.....	102
Bảng 5.5. Tính toán buồng xoắn thiết diện tròn.....	103
Bảng 5.6. Bảng vật liệu vỏ bơm	106
Bảng 5.7. Bảng vật liệu bánh công tác	107
Bảng 5.8. Độ lệch tâm của bánh công tác	113
Bảng 5.9. Các phương án khởi động máy phát	119

Bảng 5.10. Thông số dung dịch tạo bọt.....	120
Bảng 5.11. Bảng vật liệu bánh răng	123
Bảng 5.12. Bảng vật liệu vỏ bơm	123
Bảng 6.1. Vật liệu chế tạo đường ống	132
Bảng 6.2. Thông số chữa cháy	138
Bảng 6.3. Các thông số cấu trúc của vòi phun giám sát cháy.	142
Bảng 6.4. Cấu hình mô phỏng của hệ thống.....	148
Bảng 7.1. Thông số kích thước van.....	160
Bảng 7.2. Tín hiệu ngõ vào.....	163
Bảng 7.3. Tín hiệu xử lý nội bộ trong PLC	164
Bảng 7.4. Tín hiệu ngõ ra	164
Bảng 7.5. Tín hiệu vào/ra của PLC (I/O)	179
Bảng 7.6. Tín hiệu xử lý nội bộ trong PLC (Internal Registers).....	179
Bảng 7.7. Tín hiệu ngõ ra (Output)	180
Bảng 8.1. Bảng hệ thống đèn kiểm soát và hình ảnh minh họa	213
Bảng 8.2. Bảng hệ thống công tắc, nút bấm và hình ảnh minh họa	214
Bảng 8.3. Bảng đồng hồ chỉ thị và hình ảnh minh họa	218

❖ HÌNH VẼ

Hình 1.1. Xe chữa cháy chuyên nghiệp loại trạm bơm Rosenbauer (Austria).....	3
Hình 1.2. Xe bơm chữa cháy.....	5
Hình 1.3. Xe chữa cháy có bồn nước.	5
Hình 1.4. Xe chữa cháy có bồn nước và hóa chất.	6
Hình 1.5. Xe chữa cháy có bồn nước và thang cứu hộ.....	7
Hình 1.6. Khung gầm, động cơ của ô tô tải.....	8
Hình 2.1. Bơm chữa cháy và hệ thống trộn bọt.....	12
Hình 2.2. Sơ đồ nguyên lý hệ thống đường ống trên xe chữa cháy foam Ziegler SLF 100/25-65 (các chú thích bằng tiếng Anh)	14
Hình 2.3. Xe chữa cháy có xi-téc hình trụ tròn.	17
Hình 2.4. Xe chữa cháy có xi-téc hình trụ ê-líp.	17
Hình 2.5. Xe chữa cháy có xi-téc hình hộp.	18
Hình 2.6. Mặt cắt xi-téc hình chữ U.	18
Hình 2.7. Bộ trích công suất kiểu 1	20
Hình 2.8. Bơm FNP 10-10000-1H. ^[14]	24

Hình 2.9. Sơ đồ hệ thống ống với bộ trộn foam kiểu venturi quanh bơm.....	29
Hình 2.10. Sơ đồ hệ thống ống với bơm định lượng foam và trộn áp lực cân bằng.	30
Hình 2.11. Sơ đồ hệ thống ống với trộn foam theo từng nhánh độc lập.	34
Hình 2.12. Lăng phun xoay bằng tay.	41
Hình 2.13. Điều khiển sử dụng motor điện thường.....	42
Hình 2.14. Sơ đồ bố trí thiết bị MAZ-4000.....	44
Hình 3.1. Kích thước ô tô MERCEDES-BENZ ACTROSS 3358.....	46
Hình 3.2. Đồ thị đường đặc tính ngoài của động cơ.	52
Hình 3.3. Đồ thị cân bằng lực kéo.....	52
Hình 3.4. Đồ thị nhân tố động lực học.	53
Hình 3.5. Đồ thị gia tốc di chuyển của ô tô.....	53
Hình 3.6. Đồ thị thời gian tăng tốc của ô tô.	54
Hình 3.7. Đồ thị quãng đường tăng tốc của ô tô.	54
Hình 3.8. Sơ đồ bố trí tổng thể ô tô sau khi cải tạo.....	55
Hình 4.1. Xi-téc chứa chất lỏng.....	61
Hình 4.2. Bản vẽ tổng thể xi-téc chứa bột cô đặc.....	65
Hình 4.3. Mô hình xi-téc chứa bột cô đặc thiết kế trên phần mềm Autodesk Inventor	65
Hình 4.4. Mô hình phần tử hữu hạn của xi-téc chứa bột cô đặc.	66
Hình 4.5. Điều kiện biên thiết lập trong mô hình mô phỏng.....	68
Hình 4.6. Kết quả mô phỏng xi-téc chứa bột cô đặc khi xe chạy trên đường thẳng.	70
Hình 4.7. Kết quả mô phỏng xi-téc chứa bột cô đặc khi xe phanh gấp.....	71
Hình 4.8. Kết quả mô phỏng xi-téc chứa bột cô đặc khi xe chuyển hướng.	72
Hình 4.9. Bản vẽ tổng thể xi-téc chứa nước.....	73
Hình 4.10. Mô hình xi-téc chứa nước thiết kế trên phần mềm Autodesk Inventor.....	73
Hình 4.11. Mô hình phần tử hữu hạn của xi-téc chứa nước.....	74
Hình 4.12. Điều kiện biên thiết lập trong mô hình mô phỏng.....	76
Hình 4.13. Kết quả mô phỏng xi-téc chứa bột cô đặc khi xe chạy trên đường thẳng. ..	78
Hình 4.14. Kết quả mô phỏng xi-téc chứa bột cô đặc khi xe phanh gấp.....	79
Hình 4.15. Kết quả mô phỏng xi-téc chứa bột cô đặc khi xe chuyển hướng.	80
Hình 5.1. Sơ đồ cấu tạo bơm ly tâm một cấp một cửa vào	81
Hình 5.2. Một số hình dạng bánh công tác của bơm ly tâm.....	82
Hình 5.3. Vỏ bơm.	82
Hình 5.4. Trục bơm ly tâm.	83

Hình 5.5. Sơ đồ cấu tạo bơm ly tâm.....	84
Hình 5.6. Nguyên lý làm việc của bơm ly tâm FNP 10-10000-1H trên xe chữa cháy .	84
Hình 5.7. Bơm ly tâm FPN 10-10000-1H.	85
Hình 5.8. Bánh công tác bơm ly tâm.....	87
Hình 5.9. Cánh bơm ly tâm dạng cánh trụ (dạng hở).	87
Hình 5.10. Cánh bơm ly tâm dạng cánh cong trụ (dạng khép kín).	88
Hình 5.11. Bộ phận dẫn dòng bánh công tác.....	90
Hình 5.12. Tiết diện kinh tuyến của bánh công tác.	91
Hình 5.13. Tam giác vận tốc lõi vào.	92
Hình 5.14. Các kích thước của bánh công tác.	93
Hình 5.15. Các thông số trên bánh công tác.....	97
Hình 5.16. Mô tả đồ thị biến thiên vận tốc từ mép vào đến mép ra	98
Hình 5.17. Tiết diện kinh tuyến bánh công tác	99
Hình 5.18. Biên dạng cánh của bơm.	100
Hình 5.19. Bản vẽ 3D cánh bơm ly tâm.	101
Hình 5.20. Các bộ phận của buồng xoắn.....	103
Hình 5.21. Đường kính ở lõi ra ống loe.	104
Hình 5.22. Các ký hiệu kích thước trên ống loe.....	105
Hình 5.23. Bản vẽ 3D vỏ bơm ly tâm.....	106
Hình 5.24. Cấu tạo hệ thống TROKOMAT PLUS	109
Hình 5.25. Bản vẽ 3D trục bơm ly tâm.	111
Hình 5.26. Các kích thước cơ bản của ổ lăn.	114
Hình 5.27. Bơm bánh răng ăn khớp trong tham khảo.	115
Hình 5.28. Bánh răng chủ động (màu vàng)	116
Hình 5.29. Bánh răng bị động.	117
Hình 5.30. Nguyên lý bơm bánh răng ăn khớp trong.....	117
Hình 5.31. Vikings pump 123C.....	118
Hình 5.32. Máy phát điện Genlytec DG12000E.	120
Hình 5.33. Bánh răng chủ động.....	121
Hình 5.34 Bánh răng bị động.	122
Hình 6.1. Sơ đồ nguyên lý của hệ thống đường ống nước/bọt trên xe cứu hỏa.....	125
Hình 6.2. Kết cấu lăng phun.....	127
Hình 6.3. Cửa hút nước từ bên ngoài đến bơm.	129

Hình 6.4. Khớp nối nhanh.	130
Hình 6.5. Lăng phun giá cố định.	137
Hình 6.6. Quỹ đạo phun.	140
Hình 6.7. Sơ đồ cấu trúc lăng phun chữa cháy.....	142
Hình 6.8. Bộ chia tỷ lệ nước/bột	144
Hình 6.9. Bộ chia tỷ lệ bột cân bằng áp lực (balanced pressure proportioner) dùng trong hệ thống chữa cháy foam	145
Hình 6.10. Hoạt động trong điều kiện bình thường.	150
Hình 6.11. Chế độ hoạt động phun hoàn toàn khi ngắt bột.....	151
Hình 6.12. Xịt rửa đường ống bằng nước.....	152
Hình 7.1. Cấu tạo bộ điều khiển PLC.....	155
Hình 7.2. Biểu đồ tổn thất áp suất theo góc mở van.	158
Hình 7.3. Biểu đồ lưu lượng thực tế theo góc mở van.	159
Hình 7.4. Cổng van bướm.	159
Hình 7.5. Van bướm điều khiển điện Honeywell V4ABFW16-080-112.	161
Hình 7.6. Sơ đồ khối quá trình hoạt động sử dụng PLC.	163
Hình 7.7. Sơ đồ thuật toán.....	166
Hình 7.8. Nhập module, type module và ngôn ngữ lập trình cho PLC.....	168
Hình 7.9. Ladder Code.	169
Hình 7.10. Chạy mô phỏng.....	170
Hình 7.11. Các giá trị chờ lệnh.....	171
Hình 7.12. Mở 60%.	172
Hình 7.13. Mở 70%.	173
Hình 7.14. Mở 90%.	173
Hình 7.15. Thiết bị MAZ-4000.	177
Hình 7.16. Sơ đồ khối quá trình điều khiển lăng phun.....	177
Hình 7.17. Sơ đồ thuật toán điều khiển lăng phun.	182
Hình 7.18. Cài đặt trong GX Works 2.	183
Hình 7.19. Cửa sổ PLC Parameter.....	184
Hình 7.20. Chức năng Positioning.	184
Hình 7.21. Bảng Device Comment.....	185
Hình 7.22. Các ký hiệu.....	186
Hình 7.23. Chạy mô phỏng.....	188

Hình 7.24. Ladder Code	194
Hình 7.25. Thiết lập màn hình, giao diện.	195
Hình 7.26. Màn hình sau khi thiết lập.	195
Hình 7.27. Thanh công cụ.	196
Hình 7.28. Màn hình sau khi thiết lập và gán giá trị.	197
Hình 7.29. Cửa sổ Simulator Set.	198
Hình 7.30. Cửa sổ mô phỏng.	198
Hình 7.31. Servo Motor Mitsubishi HG-KN43J-S100.....	201
Hình 7.32. Hộp giảm tốc hành tinh ABR-115.	202
Hình 7.33. Van bi.....	203
Hình 7.34. Van cổng.	204
Hình 7.35. Van bướm Samwoo SW-HRW FLANGE TYPE DN250.....	205
Hình 7.36. Van bi tay gạt ARV-800FE.	207
Hình 7.37. Cấu tạo van bi điều khiển.	208
Hình 7.38. Van điều khiển bi điện.	209
Hình 7.39. Sơ đồ hệ thống điều khiển điện.	212
Hình 8.1. Bảng điều khiển và vận hành hệ thống chữa cháy.	213

DANH SÁCH CÁC KÝ HIỆU, CHỮ VIẾT TẮT

❖ CÁC KÝ HIỆU

Các ký hiệu về thông số kỹ thuật và tính toán thiết kế sẽ được giải thích trong nội dung của thuyết minh.

PLC : Programmable Logic Controller - Bộ điều khiển logic lập trình

FNF : Horizontal Centrifugal Pump - Bơm ly tâm

DC : Direct Current - Dòng điện một chiều

AC : Alternating Current - Dòng điện xoay chiều

HMI : Human-Machine Interface - Giao tiếp người-máy

❖ CÁC CHỮ VIẾT TẮT

PCCC : Phòng cháy chữa cháy

TCVN : Tiêu chuẩn Việt Nam

QCVN : Quy chuẩn Việt Nam

GTVT : Giao thông Vận tải

TCN : Tiêu chuẩn ngành

SLF : Spritzen Lösch Fahrzeug - Phương tiện chữa cháy có vòi phun

DIN : Deutsches Institut für Normung - Viện tiêu chuẩn Đức

EN : Europäische Norm - Tiêu chuẩn châu Âu

DN : Diamètre Nominal - Đường kính danh nghĩa

BSS : British Standard Specification - Ống ren tiêu chuẩn Anh

NFPA : National Fire Protection Association - Hiệp hội Phòng cháy chữa cháy Hoa Kỳ

PTO : Power Take-Off - Bộ trích công suất

CAD : Computer-Aided Design - Phần mềm hỗ trợ thiết kế trên máy tính

MỞ ĐẦU

Đồ án tốt nghiệp (Capstone Project) được thực hiện sau quá trình học tập, thực tập tại trường Đại học Bách Khoa Đà Nẵng.

❖ Mục đích thực hiện đề tài

Mục đích của đề tài “Thiết kế hệ thống chữa cháy bằng nước/bọt dựa trên xe cơ sở Mercedes-Benz Actros 3358-6x4” là nhằm nghiên cứu, xây dựng và hoàn thiện một hệ thống chữa cháy hiệu quả, an toàn, phù hợp để tích hợp trên xe cơ sở. Việc thiết kế này không chỉ góp phần nâng cao khả năng cơ động, phản ứng nhanh trong công tác chữa cháy, mà còn đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật, an toàn và tiêu chuẩn trong ngành PCCC hiện nay.

❖ Mục tiêu hướng tới

Xây dựng một giải pháp kỹ thuật hoàn chỉnh cho hệ thống chữa cháy tích hợp trên xe, bao gồm các thành phần: bồn chứa nước, bơm chữa cháy, hệ thống đường ống, vòi phun, hệ thống điều khiển và thiết bị phụ trợ.

Tối ưu hóa thiết kế để đảm bảo tính cơ động, hiệu suất làm việc và độ tin cậy cao, phù hợp với điều kiện vận hành thực tế tại Việt Nam.

❖ Phạm vi nghiên cứu

Phạm vi kỹ thuật:

- Thiết kế tổng thể và bố trí không gian hệ thống chữa cháy trên xe cơ sở.
- Tính toán lựa chọn thông số kỹ thuật của bơm chữa cháy, thể tích bồn chứa nước, lưu lượng vòi phun và công suất truyền động.

Phạm vi ứng dụng: Áp dụng cho các phương tiện chữa cháy dùng tại sân bay, nhà máy, khu công nghiệp.

❖ Đối tượng nghiên cứu

- Hệ thống cấp nước: bồn chứa nước, bơm chữa cháy, đường ống dẫn.
- Hệ thống phun chữa cháy: vòi phun, lăng phun (cầm tay và tự động).
- Hệ thống điều khiển: thiết bị điều khiển bơm, hệ thống điện.
- Khung gầm xe cơ sở.

❖ Phương pháp thực hiện

Nghiên cứu tài liệu, tham khảo các mô hình thực tế, tìm hiểu các tiêu chuẩn kỹ thuật liên quan.

Phân tích điều kiện làm việc, tổng hợp các phương án kỹ thuật đã đề ra.

Tính toán, thiết kế kỹ thuật và mô phỏng (nếu có).

Chương 1: TỔNG QUAN VỀ PHƯƠNG TIỆN PCCC

1.1. Đặt vấn đề

Phòng cháy và chữa cháy là một trong những vấn đề được quan tâm và dưới sự quản lý của nhà nước. Có nhiều nguyên nhân dẫn đến sự cố hỏa hoạn như chập điện, nổ các loại bình chứa khí, tai nạn giao thông... mà nguyên nhân chính là thiếu ý thức và kiến thức trong việc PCCC của toàn dân. Và hậu quả do hỏa hoạn xảy ra khó có thể lường trước được, số liệu thống kê của Sở cảnh sát PCCC thành phố Đà Nẵng cho thấy nhiều vụ cháy đã gây thiệt hại lớn về người và của trong nhân dân, cũng như tài sản của nhà nước.

Để khắc phục và phòng tránh phần nào những thiệt hại đó, đã có nhiều công văn, quyết định của nhà nước từ trung ương đến địa phương được ban hành trong việc phòng cháy và chữa cháy mà đứng đầu là tổng cục phòng cháy và chữa cháy. Việc phòng cháy phần lớn phụ thuộc vào nhân dân, các cơ quan tuyên truyền và khi sự cố cháy xảy ra, các sở cảnh sát phòng cháy và chữa cháy hỗ trợ đắc lực bằng các phương tiện chữa cháy chuyên nghiệp, trong đó có xe chữa cháy xi-téc.

Xe chữa cháy cùng với lực lượng cảnh sát PCCC có thể có mặt mọi nơi, mọi lúc kể cả sự cố cháy xe trên đường do va chạm, cũng như tại các cao ốc văn phòng, các tòa nhà chung cư...

Hiện nay, ở nước ta, kinh phí cho công tác phòng cháy và chữa cháy cũng còn nhiều hạn chế, trong đó có kinh phí quản lý, đào tạo, tuyên truyền, nghiên cứu và phát triển các phương tiện phòng cháy và chữa cháy.

Cùng với xu thế phát triển, sự phát triển của cơ sở hạ tầng, kiến trúc thượng tầng và các thiết bị khoa học kỹ thuật, việc phát triển và đầu tư vào công tác phòng cháy và chữa cháy là cần thiết nhằm đảm bảo an toàn cho thiết bị, công trình, cũng như con người, tránh nhiều trường hợp đáng tiếc như đã xảy ra cho cộng đồng và xã hội. Mỗi người hãy tạo cho mình lượng kiến thức nhất định về công tác phòng cháy và chữa cháy. Là một người kỹ sư ô tô, hiểu rõ phương tiện chữa cháy mà cụ thể là xe chữa cháy là điều đương nhiên, nhiệm vụ nghiên cứu và đưa vào chế tạo các loại xe chữa cháy chuyên nghiệp là việc cần phải làm trong thời gian sớm nhất.

1.2. Các phương tiện PCCC hiện nay

Các phương tiện PCCC rất đa dạng, đáp ứng phù hợp với từng sự cố hỏa hoạn xảy ra. Có thể phân ra 2 loại chính là: Xe chữa cháy và phương tiện chữa cháy. Ở đây chỉ nói đến xe chữa cháy. Có các loại xe chữa cháy sau:

- Xe bồn chữa cháy: Thùng xe có chứa đựng nước, có trang bị bơm cứu hỏa, ống dẫn nước, vòi phun...
- Xe thang chữa cháy: Bộ phận công tác của xe này là hệ thống thang leo nhằm đáp ứng cứu hỏa xảy ra ở nhà cao tầng...
- Xe trạm bơm: Nhiệm vụ chính là cung cấp nước cho xe bồn chữa cháy. Nó có thể có mặt tại hiện trường hỏa hoạn để bơm và cấp nước cho xe bồn từ nguồn sông, suối, ao, hồ....

- Xe chở quân đội chữa cháy: Nhằm để vận chuyển nhanh chóng, kịp thời sĩ quan, chiến sĩ chữa cháy, bộ phận an ninh tới nơi sự cố hỏa hoạn xảy ra.



Hình 1.1. Xe chữa cháy chuyên nghiệp loại trạm bơm Rosenbauer (Austria).

Ngoài công dụng chữa cháy dân sự, xe chữa cháy còn có thể dùng trong quân sự như chống khủng bố, biểu tình...

1.2.1. Điều kiện làm việc của phương tiện PCCC

Làm việc trong các tình huống cần tính cơ động cao.

Xe thuộc dạng ưu tiên nên cần trang bị còi đèn ưu tiên.

Ngoài các thiết bị chuyên dùng chữa cháy, xe chữa cháy loại lớn còn có trang bị thêm thang cứu hộ. Nên cần phải bố trí chung sao cho đạt TCVN và TCN.

Tùy theo tình trạng chat nên sẽ cần áp suất phun khác nhau nên ta phải có nhiều lăng phun để đảm bảo hiệu quả chữa cháy cao nhất.

Cần trang bị ống mềm để lính cứu hộ tiếp cận những địa điểm cháy mà xe chữa cháy không lưu thông vào được.

Cần phải điều chỉnh được áp suất của nước phun ra từ vòi phun để có thể đưa nước tiếp cận đến các nguồn cháy.

Công suất bơm lớn nên cần lựa chọn phương án dẫn động bơm cho phù hợp.

Việc liên kết thùng chuyên dùng với xe cơ sở khó khăn nên cần phải có phương pháp liên kết đặc biệt.

Do phải làm công tác cứu hộ nên ngoài phải chở các thiết bị chữa cháy thì còn phải đảm bảo chở được 3-5 người lính cứu hộ.

Cần có khả năng hút nước từ các nguồn nước khác nhau.

Khả năng thông qua cao.

1.2.2. Yêu cầu của phương tiện PCCC

Xe cần đảm bảo mô-men xoắn lớn để tăng tốc trong đường xá thành phố.

Khi làm nhiệm vụ, các thiết bị phải điều khiển nhẹ nhàng.

Có kết cấu phù hợp, thuận tiện cho việc di chuyển trong công tác chữa cháy để có thể kịp thời dập tắt các đám cháy xảy ra nghiêm trọng.

Phải kiểm soát được lưu lượng nước của vòi phun để đảm bảo áp suất phun cho quá trình chữa cháy.

Ngoài việc bố trí bồn chứa nước chữa cháy và bơm nước. Cần phải có không gian để chứa thiết bị chuyên cứu hộ cứu nạn như rù, ống thở...

Thiết bị chuyên dùng (gồm bồn chứa nước chữa cháy và bơm nước) có khối lượng lớn. Khi thiết kế phải đảm bảo đạt TCVN và TCN.

Áp lực nước đủ để dập tắt được đám cháy.

Thùng xe đảm bảo kín khít, không rò rỉ.

Bơm hút nước nhanh.

Ngoài tính cơ động còn có tính việt dã cao (địa hình rừng, núi...).

Dễ dàng bảo trì bảo dưỡng, vệ sinh xe.

Cần phải có một số dạng vòi phun khác nhau để đảm bảo hiệu quả chữa cháy.

1.2.3. Các loại xe chữa cháy

a. Xe bơm chữa cháy

❖ Kết cấu

- Xe nền có tải trọng nhỏ, có tính cơ động cao.
- Trên xe được gắn 1 hoặc nhiều bơm, có nguồn công suất riêng.
- Xe được tận dụng chở vòi hoặc các thiết bị hỗ trợ cho hoạt động chữa cháy.

Vì vậy xe chữa cháy loại này chỉ là phương tiện chở bơm với nguồn công suất riêng. Khi cháy xảy ra, bơm được nối với nguồn nước ngay tại nơi xảy ra cháy.

❖ Ưu điểm

- Xe có kết cấu đơn giản.
- Áp dụng cho nơi đường xá chật hẹp.
- Có thể sản xuất trong nước.
- Dễ sử dụng, bảo trì, bảo dưỡng.

❖ Nhược điểm

- Do xe chỉ chở thiết bị công tác nên phụ thuộc vào các loại xe chữa cháy khác.
- Xe không có nguồn nước sẵn nên không thể sử dụng ở những nơi không có nguồn nước.



Hình 1.2. Xe bơm chữa cháy.

b. Xe chữa cháy có bồn nước



Hình 1.3. Xe chữa cháy có bồn nước.

❖ Kết cấu

- Xe nền có tải trọng lớn dùng để chuyên chở bồn chứa nước chữa cháy.
- Trên xe được gắn 1 bơm ly tâm, dẫn động từ trực trích công suất từ động cơ.
- Xe được trang bị đầy đủ các thiết bị phục vụ cho công tác chữa cháy, có khả năng vận chuyển các cán bộ chiến sĩ chữa cháy.

❖ **Ưu điểm**

- Có tính cơ động cao, có thể chủ động về nguồn nước cũng như các thiết bị phục vụ công tác chữa cháy.
- Có khả năng hoạt động độc lập trong một khoảng thời gian nhờ vào nguồn nước trong bồn.
- Xe chữa cháy loại này có thể áp dụng cho những nơi chưa có mạng lưới trụ nước tốt.

❖ **Nhược điểm**

- Ngoài việc bố trí thiết bị chuyên dùng, xe còn phải bố trí thêm thùng nước nên kết cấu phức tạp hơn.
- Giá thành cao do chủ yếu là nhập khẩu từ nước ngoài.
- Trong điều kiện ở nước ta thì việc sử dụng loại xe này gặp khá nhiều khó khăn. Đặc biệt là ở những khu dân cư đông đúc, đường xá chật hẹp.

c. Xe chữa cháy có bồn nước và bồn hóa chất



Hình 1.4. Xe chữa cháy có bồn nước và hóa chất.

❖ **Kết cấu**

- Xe loại này thường có tải trọng lớn hơn xe chữa cháy có bồn nước.
- Vì trên xe ngoài bồn chứa nước ra còn có bồn chứa hóa chất để tăng khả năng dập tắt đám cháy.
- Có hệ thống trộn hóa chất với nước theo những tỷ lệ khác nhau phụ thuộc vào người điều khiển.

❖ **Ưu điểm**

- Khả năng dập tắt ngọn lửa cao hơn so với phương pháp chữa cháy bằng nước thông thường.
- Có thể áp dụng cho những nơi chưa có mạng lưới trụ nước tốt.
- Dập tắt được các đám cháy nghiêm trọng như cháy hóa chất

❖ **Nhược điểm**

- Kết cấu phức tạp.
- Giá thành vật liệu hóa chất dùng để chữa cháy cao.
- Chủ yếu nhập khẩu từ nước ngoài.

d. Xe chữa cháy có bồn nước (hoặc bồn hóa chất) và có thang cứu hộ



Hình 1.5. Xe chữa cháy có bồn nước và thang cứu hộ.

❖ **Kết cấu:**

- Xe chữa cháy loại này có yêu cầu cao về tính ổn định tĩnh khi đang chữa cháy vì trên xe có hệ thống thang trượt.
- Nhờ hệ thống thang trượt này mà xe có khả năng đưa nạn nhân trên cao xuống đất an toàn và giúp cho lính cứu hỏa tiếp cận ngọn lửa tốt hơn.
- Có cụm hệ thống thủy lực để điều khiển thang trượt.

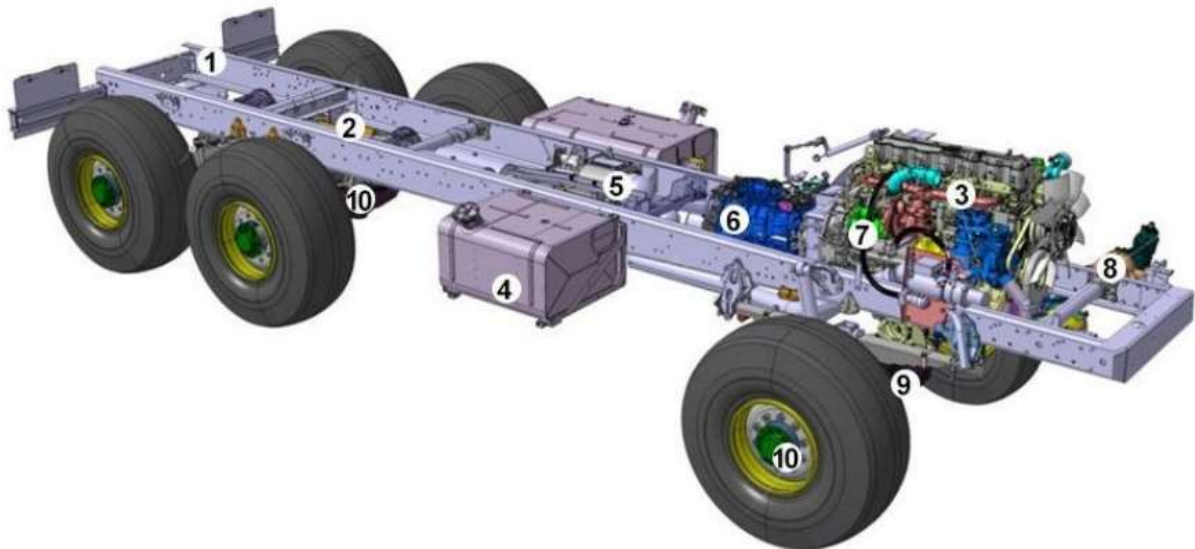
❖ **Ưu điểm:**

- Dập tắt đám cháy tốt do lính cứu hỏa có thể chủ động tiếp cận nguồn cháy với khoảng cách hợp lý hơn.
- Có thể sử dụng để đưa nạn nhân trong đám cháy ra ngoài an toàn, đặc biệt là các tòa nhà cao tầng như chung cư.

❖ **Nhược điểm:**

- Xe có kết cấu phức tạp: vừa phải có cụm hệ thống thủy lực để điều khiển nâng hạ thang và vừa phải có cụm chi tiết bơm và thùng nước để chữa cháy.
- Xe cồng kềnh nên việc di chuyển đến nơi đang cháy tốn nhiều thời gian hơn.
- Bảo trì, bảo dưỡng tốn nhiều công sức hơn.
- Giá thành xe khá cao và chủ yếu nhập khẩu từ nước ngoài.

1.2.4. Yêu cầu đối với khung gầm xe cứu hỏa



Hình 1.6. Khung gầm, động cơ của ô tô tải

1. Khung xe, 2. Truyền động các đăng, 3. Động cơ, 4. Bình nhiên liệu, 5. Hộp chuyển số, 6. Hộp số, 7. Hệ thống nhiên liệu, 8. Cơ cấu lái, 9. Hệ thống phanh, 10. Cầu.

Các thành phần chính của khung gầm cơ bản của ô tô là hộp số, trục các đăng và truyền động cuối, vi sai, ly hợp, lái, hệ thống phanh, trục, hệ thống treo, khung và bánh xe.

Khung xe đủ cứng vững để gắn động cơ, thân xe và các bộ phận khác.

Hộp số các đăng được thiết kế để truyền mô-men xoắn từ hộp số hoặc hộp chuyển số đến trục truyền động của xe.

Độ tin cậy và độ bền của từng bộ phận khung gầm đảm bảo khả năng vận hành của toàn bộ xe cứu hỏa và quyết định các đặc điểm khác nhau của xe. Cần phải tính đến thực tế là tất cả xe cứu hỏa và thiết bị cứu hộ khẩn cấp đều hoạt động trong điều kiện khắc nghiệt hơn so với các loại xe thông thường, phải chịu tải trọng lớn hơn và tiếp xúc với các yếu tố cháy nổ nguy hiểm (nhiệt độ cao và ô nhiễm khí). Do đó, khi phát triển và thiết kế xe cứu hỏa, người ta áp dụng các yêu cầu bổ sung sau đây cho khung xe:

Đặc tính lực kéo và tốc độ cũng như loại truyền động phải tuân thủ các yêu cầu của tài liệu kỹ thuật dành cho từng kiểu khung gầm cụ thể. Hơn nữa, khung gầm của xe cứu hỏa dẫn động bốn bánh phải được trang bị lốp xe cho phép chúng di chuyển được cả trên đường nhựa và đường đất. Ngoài ra, thiết kế khung gầm xe cứu hỏa phải có khả năng lắp xích chống trượt vào từng bánh xe dẫn động, kể cả xe có lốp đôi.

Thiết kế khung gầm xe chữa cháy phải có khả năng lắp đặt cơ cấu trích công suất (hộp trích công suất) cần thiết để truyền mô-men xoắn đến các bộ truyền động của xe thang và các bộ phận đặc biệt khác (máy phát điện, máy bơm nước, quạt, máy nén khí...).

Khung gầm và động cơ của xe cứu hỏa phải có khả năng lắp đặt các thiết bị duy trì vi khí hậu bình thường trong cabin cho người (máy sưởi, hệ thống thông gió cấp và thoát khí, máy điều hòa không khí).

Có thể kiểm tra mức dầu động cơ và chất làm mát mà không cần nâng cabin.

Bình nhiên liệu phải có dung tích cho phép xe cứu hỏa di chuyển quãng đường ít nhất là 400 km với tốc độ 60 km/h.

Cổ bình chứa nhiên liệu phải được đặt ở vị trí có thể nạp nhiên liệu bằng cả phương pháp cơ học và thủ công (sử dụng bình chứa).

Động cơ và hệ thống truyền động bổ sung của xe cứu hỏa, trong trường hợp trực truyền động cố định, phải đảm bảo hoạt động liên tục của máy bơm nước trong ít nhất 6 giờ, trong mọi điều kiện vận hành theo chế độ danh nghĩa. Hơn nữa, nhiệt độ của chất làm mát trong hệ thống làm mát động cơ, cũng như nhiệt độ của dầu trong hộp số và trong động cơ, không được vượt quá các giá trị được chỉ định trong tài liệu kỹ thuật cho mẫu khung gầm này. Phải loại bỏ hoàn toàn tình trạng quá nhiệt nguy hiểm của các thiết bị, hệ thống dây điện, thân xe và các bộ phận trong cabin, kể cả trong quá trình khởi động nguồn điện cố định.

Khung gầm xe cứu hỏa được trang bị hệ thống phanh khí nén và phanh đỗ có bộ tích năng lò xo phải được trang bị thiết bị cho phép duy trì áp suất làm việc trong hệ thống phanh ở chế độ đứng yên. Hơn nữa, phải loại trừ hoàn toàn tình trạng áp suất trong hệ thống phanh khí nén giảm hơn 60% so với giá trị danh định (trong 1 ngày).

Hệ thống điện của khung xe phải được trang bị thiết bị chuyển mạch cho phép ngắt kết nối ắc quy, đồng thời có thể sạc ắc quy bằng bộ sạc mà không cần tháo ắc quy khỏi khung xe.

Vị trí đặt ắc quy phải cho phép theo dõi mức độ và mật độ chất điện phân trong ắc quy, đảm bảo khả năng cách điện trong mùa lạnh và ngăn nước và bụi bắn bám vào ắc quy. Hơn nữa, xe cứu hỏa được thiết kế để hoạt động trong điều kiện nhiệt độ âm đáng kể (khu vực Bắc Cực, khu vực lục địa Siberia) phải có khoang cách nhiệt để lắp thêm bình ắc quy.

Nguồn điện của xe chữa cháy (máy phát điện, ắc quy) phải có đủ điện dự trữ, cần thiết trong trường hợp kết nối thêm các thiết bị tiêu thụ khác (đèn pha, đèn rọi, dụng cụ điện...).

Khung gầm xe cứu hỏa phải được trang bị bộ đệm an toàn phía sau và thiết bị kéo.

Thiết kế khung gầm xe cứu hỏa phải cho phép vận chuyển bằng xe chuyên dụng. Hơn nữa, khung gầm phải có các thiết bị đặc biệt để đảm bảo việc đưa hàng lên sàn để vận chuyển tiếp theo được an toàn. Các bề mặt cuối của khung xe phải có biển báo "Trọng tâm".

Tất cả các khung gầm được sản xuất đặc biệt để sản xuất xe cứu hỏa phải có chứng chỉ đặc biệt có đánh dấu và phê duyệt loại khung gầm, cũng như tất cả các tài liệu đi kèm cần thiết.

Tuổi thọ của khung gầm và toàn bộ xe cứu hỏa phải ít nhất là 10 năm, kể từ thời điểm đưa vào sử dụng cho đến khi ngừng sử dụng.

Các yêu cầu vận hành bao gồm: dễ kiểm soát, tiết kiệm nhiên liệu, chi phí bảo trì chấp nhận được.

Chương 2: PHƯƠNG ÁN THIẾT KẾ HỆ THỐNG CHỮA CHÁY BẰNG NƯỚC/BỌT

2.1. Nhiệm vụ, điều kiện làm việc và yêu cầu của ô tô chữa cháy

2.1.1. Nhiệm vụ

Dập tắt các đám cháy gây nguy hại đến tính mạng và tài sản.

Cứu hộ, cứu nạn con người trong đám cháy.

Hạn chế được đám cháy và chữa cháy.

2.1.2. Điều kiện làm việc

Làm việc trong các tình huống cần tính cơ động cao.

Xe thuộc dạng ưu tiên nên cần trang bị còi đèn ưu tiên.

Xe chữa cháy khó tiếp cận địa điểm cần chữa cháy do đặc điểm đường xá Việt Nam là nhiều đường hẻm.

Ngoài các thiết bị chuyên dùng chữa cháy, xe chữa cháy loại lớn còn có trang bị thêm thang cứu hộ. Nên cần phải bố trí chung sao cho đạt TCVN và TCN.

Tùy theo tình trạng chất nên sẽ cần áp suất phun khác nhau. Nên ta phải có nhiều lăng phun để đảm bảo hiệu quả chữa cháy cao nhất.

Cần trang bị ống mềm để lính cứu hộ tiếp cận những địa điểm cháy mà xe chữa cháy không lưu thông vào được.

Cần phải điều chỉnh được áp suất của nước phun ra từ vòi phun để có thể đưa nước tiếp cận đến các nguồn cháy.

Công suất bơm lớn nên cần lựa chọn phương án dẫn động bơm cho phù hợp.

Việc liên kết thùng chuyên dùng với xe cơ sở khó khăn. Nên cần phải có phương pháp liên kết đặc biệt.

Do phải làm công tác cứu hộ nên ngoài phải chở các thiết bị chữa cháy thì còn phải đảm bảo chở được 3-5 người lính cứu hộ.

Cần có khả năng hút nước từ các nguồn nước khác nhau.

Khả năng thông qua cao.

2.1.3. Yêu cầu

Xe cần đảm bảo mô-men xoắn lớn để tăng tốc trong đường xá thành phố.

Khi làm nhiệm vụ, các thiết bị phải điều khiển nhẹ nhàng.

Có kết cấu phù hợp, thuận tiện cho việc di chuyển trong công tác chữa cháy để có thể kịp thời dập tắt các đám cháy xảy ra nghiêm trọng.

Phải kiểm soát được lưu lượng nước của vòi phun để đảm bảo áp suất phun cho quá trình chữa cháy.

Ngoài việc bố trí bồn chứa nước chữa cháy và bơm nước. Cần phải có không gian để chứa thiết bị chuyên cứu hộ cứu nạn như rù, ống thở...

Thiết bị chuyên dùng (gồm bồn chở nước chữa cháy và bơm nước) có khối lượng lớn. Khi thiết kế phải đảm bảo đạt TCVN và TCN.

Áp lực nước đủ để dập tắt được đám cháy.

Thùng xe đảm bảo kín khít, không rò rỉ.

Bơm hút nước nhanh.

Ngoài tính cơ động còn có tính việt dã cao (địa hình rừng, núi...).

Dễ dàng bảo trì bảo dưỡng, vệ sinh xe.

Cần phải có một số dạng vòi phun khác nhau để đảm bảo hiệu quả chữa cháy.

❖ Yêu cầu chung

- Thỏa mãn các tiêu chuẩn, quy chuẩn ngành của Bộ GTVT.
- Phù hợp với công nghệ, quy trình sản xuất xe chuyên dùng trong nước.
- Dễ dàng vận hành, bảo trì, bảo dưỡng trong quá trình sử dụng.

❖ Yêu cầu riêng

- Được trang bị các thiết bị, dụng cụ, công nghệ chữa cháy thỏa mãn các quy định, nghị định về phương tiện PCCC.
- Công suất phun lớn, có khả năng dập tắt các đám cháy lan nhanh.
- Có khả năng chở từ 5-7 lính cứu hỏa.
- Có khả năng hỗ trợ cứu hộ, cứu nạn.

2.2. Chọn phương án thiết kế chung

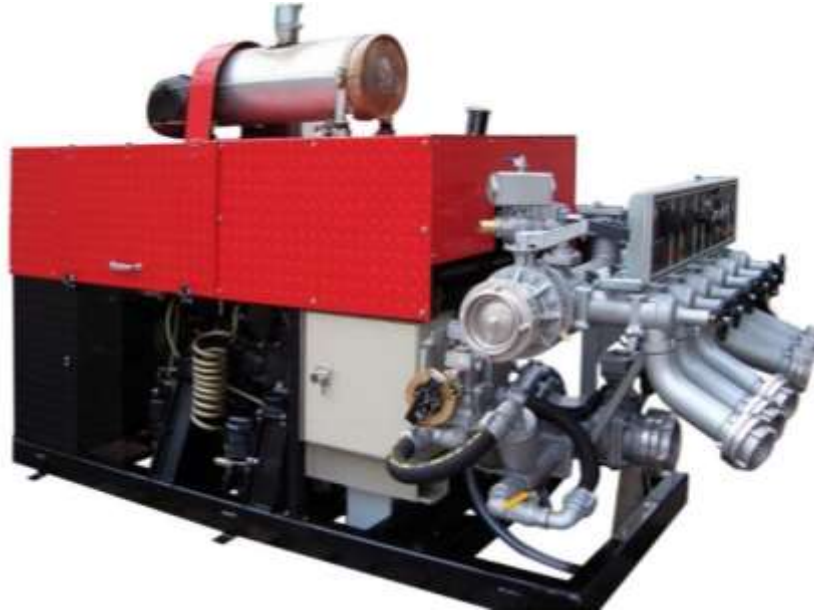
Xi-téc nước và xi-téc bọt: Xe chữa cháy trang bị hai bồn chứa chính: một bồn nước dung tích 2500 lít và một bồn chất tạo bọt dung tích 6500 lít, cả hai làm bằng vật liệu composite sợi thủy tinh có gia cố. Bồn nước có cửa kiểm tra đường kính 500 mm trên nóc xe và các vách ngăn chống sóng có thể tháo rời, trong khi bồn bọt cũng có cửa kiểm tra tương tự để thuận tiện cho bảo dưỡng. Mỗi bồn đều trang bị cảm biến điện tử hiển thị mức chất lỏng hiện tại trên bảng điều khiển, giúp người vận hành theo dõi lượng nước và foam còn lại một cách chính xác.

Hệ thống hút (cấp nước/foam vào bơm): Xe có cấu hình hút nước đa dạng nhằm tăng khả năng lấy nước từ nhiều nguồn.

Hút từ bồn nước chính: một đường ống hút cỡ DN250 kết nối từ đáy xi-téc nước tới bơm, tích hợp van một chiều chống chảy ngược và van khóa đóng/mở điều khiển từ xa để cô lập bồn nước khi cần.

Hút từ nguồn nước bên ngoài: xe có các cửa hút lớn đạt chuẩn NFPA (3 cửa hút đường kính 5") để kết nối với nguồn nước ngoài (hồ, bể, trụ nước chữa cháy) và các cửa nạp bổ sung (8 cửa hút BSS 2,5", chia đều mỗi bên thân xe 4 cửa) phục vụ bơm tiếp nước từ trụ hydrant vào hệ thống. Nhiều cửa hút cho phép xe tiếp nhận lưu lượng lớn nước cùng lúc (ví dụ, đầu nối nhiều đường ống cấp từ hydrant) nhằm nhanh chóng làm đầy bồn nước hoặc cung cấp trực tiếp cho bơm.

Hút chất tạo bọt: téc bọt có một kết nối hút kích cỡ DN80 (khớp nối BSS 2,5") để lấy chất tạo bọt từ thùng chứa bên ngoài hoặc bồn dự phòng, van này cũng được điều khiển đóng/mở từ xa để đảm bảo an toàn và thuận tiện. Hệ thống môi bơm của xe là loại tự động TROKOMAT Plus do Ziegler thiết kế, bao gồm các piston hút khí tích hợp quanh thân bơm ly tâm. Khi vận hành hút nước từ nguồn thấp (hút sâu), TROKOMAT tự động đẩy không khí ra khỏi buồng bơm và đường ống hút, giúp nhanh chóng tạo chân không để nước dâng vào bơm. Nhờ đó, bơm ly tâm có thể tự mồi rất hiệu quả mà không cần thao tác thủ công, rút ngắn thời gian hút nước và tránh hiện tượng “tụt nước” trong buồng bơm khi mồi.



Hình 2.1. Bơm chữa cháy và hệ thống trộn bọt.

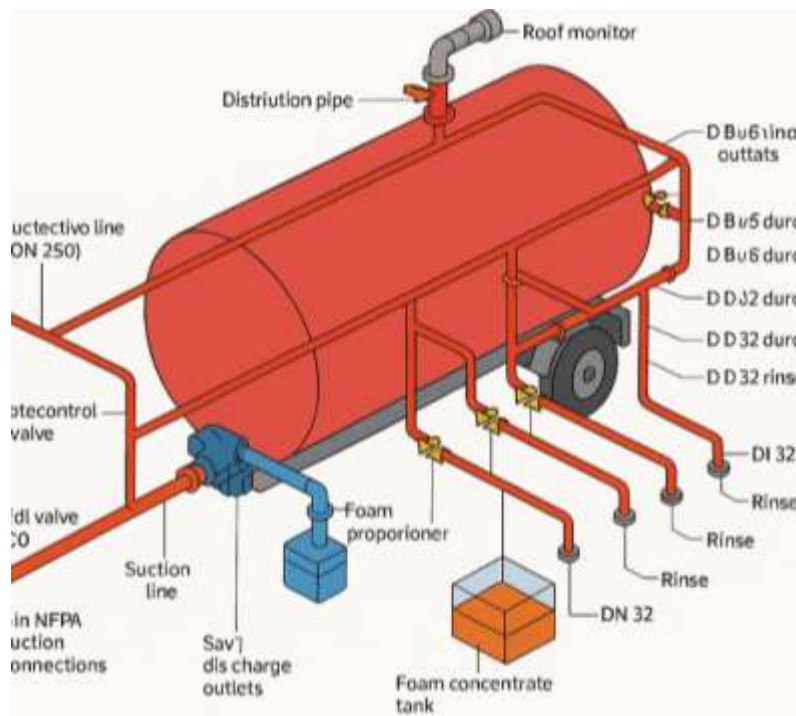
Trái tim của hệ thống là bơm chữa cháy ly tâm một cấp đạt công suất danh định 10.000 lít/phút tại 10 bar theo tiêu chuẩn DIN EN 1028. Bơm được chế tạo bằng hợp kim nhôm chịu nước biển, trục và cánh bơm bằng thép không gỉ, đảm bảo độ bền trong môi trường ăn mòn của dung dịch foam. Xe còn tích hợp bơm định lượng bọt (foam pump) truyền động thủy tĩnh, dùng để hút chất tạo bọt từ téc foam và bơm vào dòng nước. Hệ thống trộn foam thuộc loại tỷ lệ áp lực cân bằng tự động. Nguyên lý hoạt động: foam concentrate được bơm định lượng và phối trộn vào nước chữa cháy theo tỷ lệ cài đặt (1%, 3%, 6%... tùy chọn) thông qua một bộ điều áp và van trộn, bảo đảm áp suất của dòng chất tạo bọt bằng với áp suất nước trong bơm. Nhờ đó, hỗn hợp nước/bọt luôn duy trì đúng tỷ lệ ngay cả khi lưu lượng và áp suất bơm thay đổi trong dải hoạt động đầy đủ của bơm. Hệ thống này cho phép trộn bọt tự động và chính xác, đáp ứng yêu cầu cao về chất lượng bọt đầu ra (độ chính xác tỷ lệ trộn đạt trong khoảng $\pm 10\%$ giá trị thiết kế ở các mức 3% hoặc 6%). Khi cần chuyển sang chế độ phun nước thuần túy, bơm bọt có thể tắt và toàn bộ hệ thống foam được cách ly nhờ các van chống tràn ngược để ngăn nước xâm nhập vào téc foam. Sau khi sử dụng foam, xe có hệ thống súc rửa tích hợp: chỉ cần bật nút “phun rửa”, nước sạch từ bồn sẽ chảy qua các đường ống foam để rửa sạch cặn bọt, van một chiều đặc biệt sẽ ngăn nước rửa này chảy ngược vào bồn foam. Quy trình trộn và súc rửa foam này giúp bảo vệ bơm và đường ống khỏi đóng cặn, kéo dài tuổi thọ thiết bị.

Hệ thống phân phối đầu ra: Sau khi hỗn hợp nước/bọt được tạo thành tại bơm, hệ thống đường ống sẽ dẫn chất chữa cháy tới các thiết bị đầu ra trên xe. Cấu hình xe bao gồm: Một *lăng phun (monitor) cố định trên nóc xe* cỡ lớn, nối với bơm qua đường ống DN125, lưu lượng tối đa 6.000 lít/phút tại 10 bar. Lăng này có tầm phun xa ~85 m với nước hoặc ~80 m với foam, góc quay ngang 330°, góc nâng hạ từ -20° đến +70°, được điều khiển từ xa bằng joystick và có khóa cố định vị trí khi xe di chuyển. Đường ống cấp cho lăng giá tích hợp van đóng/mở điều khiển điện-khí nén từ bảng điều khiển, cho phép người vận hành nhanh chóng cấp hoặc ngắt foam tới lăng giá tùy nhu cầu. Sáu *hạng phun cầm tay* đường kính 2½" (DN60) bố trí hai bên thân xe (mỗi bên 3 hạng), lắp khớp nối nhanh kiểu BSS và có nắp bịt khi không sử dụng. Các hạng này cho phép kết nối vòi chữa cháy để triển khai lăng phun cầm tay quanh xe, thích hợp chữa cháy tầm gần hoặc những vị trí mà lăng giá không vươn tới. Mỗi hạng đều có van khóa (thường là van tay kiểu cửa hoặc van bi) ngay tại vị trí đầu ra để đóng mở dòng chất chữa cháy. *Đường foam ra thiết bị ngoài*: một đầu ra cỡ DN50 chuyên dùng để cấp bọt cô đặc (foam concentrate chưa trộn) cho thiết bị bên ngoài. Đầu ra này cho phép xe hỗ trợ cấp chất tạo bọt cho một hệ thống chữa cháy khác (ví dụ hệ thống foam cố định của cơ sở hoặc xe chữa cháy khác) trong trường hợp cần thiết. Khi kích hoạt, foam concentrate từ bồn foam sẽ được bơm qua đường DN50 này (bypass qua bộ trộn) đến thiết bị ngoài; đường ống có van khóa độc lập để tránh rò rỉ khi không sử dụng. *Đường bơm nạp nước vào bồn*: một đường ống DN50 cho phép bơm tuần hoàn nước từ bơm trở về bồn nước. Khi nối nguồn nước ngoài và cần làm đầy bồn nước nhanh, người vận hành có thể mở van đường nạp này để bơm tự đẩy nước vào bồn (tương tự chức năng “bù nước” cho bồn chứa). Đường này cũng hữu ích để xả bớt áp nếu bơm dư áp lực hoặc làm mát bơm khi chạy không tải (tuần hoàn nước tránh quá nhiệt). *Đường cấp nước ngoài (bypass)*: một đường DN32 để cấp nước kỹ thuật hoặc cung cấp nước cho thiết bị ngoài (ví dụ súng chữa cháy di động nhỏ, đường ống làm mát động cơ khác). Đường này có lưu lượng nhỏ, thường điều khiển từ xa, và có thể sử dụng khi cần lấy nước từ bơm cho mục đích khác mà không ảnh hưởng tới các đường chính. *Đường súc rửa (rinse)*: một đường DN32 khác được thiết kế dành riêng cho việc súc rửa hệ thống foam. Khi kích hoạt chế độ súc rửa, van đường này mở để nước sạch chảy qua toàn bộ hệ thống trộn và các ống dẫn foam, xả ra ngoài qua đường rinse, cuốn theo cặn bọt còn sót. Cuối cùng, *các van xả cận và van an toàn*: tại các điểm thấp của hệ thống đường ống (bơm, đầu hút, đầu ra) đều bố trí van xả để tháo cạn nước sau khi chữa cháy, để phòng đóng băng hoặc ăn mòn. Tất cả các van xả này được thiết kế dễ tiếp cận, một số có điều khiển từ xa và một số vận hành bằng tay tại chỗ.

Hệ thống điều khiển và đo lường: Toàn bộ các van chính và bơm bọt trên xe foam đều được tích hợp vào hệ thống điều khiển tự động bằng khí nén kết hợp điện (điều khiển PLC). Bảng điều khiển bơm đặt ở sau xe, với các nút bấm tương ứng cho: bật/tắt bơm chính, chọn nguồn hút (bồn hay ngoài), bật bơm bọt, mở van foam ngoài, mở lăng giá, mở đường súc rửa, v.v. Khi nhấn nút, tín hiệu điện sẽ kích hoạt xy-lanh khí nén để đóng/mở van tương ứng rất nhanh và chính xác. Ví dụ, nhấn nút “BƠM BỌT” sẽ khởi động động cơ phụ truyền động bơm foam và mở van hút foam; nhấn nút sẽ dừng bơm foam tức thì. Tại bảng điều khiển còn có đầy đủ đồng hồ và đèn báo phục vụ theo dõi tình trạng hệ thống: đồng hồ áp suất đường ra của bơm chính (thang 0–16 bar), đồng hồ áp suất chân không/áp lực đường hút (thang âm cho hút chân không khi hút sâu hoặc dương khi nhận nước có áp từ trụ nước), đồng hồ áp suất khí nén hệ thống (đảm bảo >6

bar để các van khí nén hoạt động ổn định), đồng hồ tốc độ vòng quay bơm chính (theo dõi số vòng/phút để vận hành trong dải an toàn). Ngoài ra còn có đèn cảnh báo nhiệt độ bơm foam: nếu nhiệt độ trong bơm foam $>60^{\circ}\text{C}$, đèn sẽ sáng để nhắc người vận hành mở van xả nhiệt (hoặc thực hiện súc rửa) tránh hỏng bơm. Mức nước trong bồn và mức foam trong két luôn hiển thị qua đèn LED hoặc đồng hồ điện tử trên bảng; khi gần cạn hoặc đầy sẽ có đèn báo hiệu tương ứng. Nhờ hệ thống điều khiển và đo lường hiện đại này, việc vận hành xe foam Ziegler trở nên an toàn, chính xác và hiệu quả, người lái chỉ cần thao tác tại bảng điều khiển trung tâm mà không phải trực tiếp đóng mở van trên đường ống.

Sơ đồ dòng chảy tổng thể: Hình dưới đây phác thảo dòng chảy chất chữa cháy trong hệ thống đường ống của xe foam. Nước từ xi-téc nước (Water tank) hoặc nguồn ngoài đi qua đường hút DN250 (Suction line) vào bơm ly tâm (Fire pump). Bơm foam (Foam pump) hút chất tạo bọt từ xi-téc bọt (Foam concentrate tank) và đẩy vào thiết bị trộn (Foam proportioner), nơi foam được hòa vào dòng nước theo tỷ lệ cài đặt. Hỗn hợp nước/bọt sau đó đi vào ống góp phân phối (distribution pipe) và được dẫn tới các họng đầu ra (discharge outlets) gồm lăng giá trên nóc (Roof monitor) và các lăng cầm tay hai bên. Hệ thống cũng cho phép tuần hoàn nước về bồn (qua van hồi lưu) và súc rửa đường ống foam (qua nhánh rinse DN32). Mỗi nhánh đều có van khóa (remote control valve) để người vận hành kiểm soát hướng dòng chảy theo nhu cầu.



Hình 2.2. Sơ đồ nguyên lý hệ thống đường ống trên xe chữa cháy foam Ziegler SLF 100/25-65 (các chú thích bằng tiếng Anh)

Màu đỏ biểu thị đường nước/bọt, màu cam là bồn chất tạo bọt, màu xanh lam là bơm và thiết bị trộn. Từ bồn nước (Water tank) và bồn foam (Foam concentrate tank), chất chữa cháy được hút vào bơm, trộn tại “Foam proportioner”, rồi phân phối tới lăng giá (Roof monitor) và các họng phun (Discharge outlets). Hệ thống có các đường phụ như đường hồi lưu về bồn, đường súc rửa (DN32 Rinse) và các van điều khiển từ xa đảm bảo linh hoạt, an toàn.

❖ So sánh với yêu cầu thiết kế xe foam mới

Đề tài thiết kế mới đặt ra yêu cầu cho một xe chữa cháy foam loại xe bồn (tanker) với các thông số chính: bơm chữa cháy lưu lượng 10.000 lít/phút tại 10 bar, trang bị 1 lăng giá cố định lưu lượng ~6.000 lít/phút, 6 lăng chữa cháy cầm tay, hệ thống điều khiển tự động, tuân thủ tiêu chuẩn TCVN hiện hành (TCVN 13316-3:2022 về xe chữa cháy bọt hóa chất). Khi so sánh, có thể thấy cấu trúc hệ thống đường ống của xe nêu trên về cơ bản đáp ứng khá tốt các tiêu chí của thiết kế mới:

1. Công suất bơm và lăng phun: Bơm ly tâm đạt 10.000 lít/phút, 10 bar, đúng bằng yêu cầu thiết kế. Lăng phun cố định trên nóc xe có lưu lượng tối đa 6.000 lít/phút, đáp ứng tiêu chuẩn lăng giá foam (theo TCVN yêu cầu lăng giá phải đạt ≥ 5.000 lít/phút đối với xe chữa cháy foam công suất lớn). Như vậy về khả năng phun xa và lưu lượng, xe tương đương mục tiêu thiết kế.

2. Số lượng và bố trí đầu ra: Xe trang bị 6 họng phun tay đường kính 2½" phân bố đều hai bên, đúng bằng số lăng cầm tay yêu cầu. Các đầu ra này cho phép triển khai cùng lúc nhiều vòi chữa cháy để bao phủ đám cháy trên diện rộng – phù hợp với tiêu chí khả năng bao phủ của thiết kế mới. Ngoài ra, Ziegler còn có đường cấp foam cô đặc ra ngoài và đường bơm nạp bồn, tuy không được yêu cầu trực tiếp nhưng đây là tính năng hữu ích có thể kế thừa cho thiết kế mới nhằm tăng tính linh hoạt.

3. Hệ thống trộn foam: Xe sử dụng hệ thống trộn foam tự động (PROFOMAT) với bơm foam độc lập, đảm bảo tỷ lệ trộn chính xác và ổn định trên toàn dải hoạt động. Điều này đáp ứng yêu cầu hiệu suất và độ tin cậy cao trong trộn chất tạo bọt của thiết kế mới, đồng thời thỏa mãn các tiêu chí của TCVN về độ chính xác tỷ lệ pha trộn (ví dụ $\pm 30\%$ đối với 3% foam theo TCVN 13316). Nếu so với các phương án trộn foam thủ công hoặc bán tự động, rõ ràng cấu hình ưu việt hơn hẳn về tính tự động và chính xác.

4. Điều khiển và tự động hóa: Thiết kế mới đòi hỏi điều khiển tự động, và hệ PLC đã minh chứng tính hiệu quả: từ vận hành bơm, van lựa chọn nguồn nước, đến điều chỉnh lăng phun, tất cả đều có thể thực hiện qua nút bấm. Các van chặn chính (hút nước, hút foam, cấp lăng giá, hồi lưu, súc rửa...) đều điều khiển bằng khí nén từ xa, phù hợp xu hướng tự động hóa nhằm rút ngắn thời gian thao tác và giảm nguy cơ sai sót cho người vận hành. Do đó, về mặt này, hệ thống hoàn toàn tương đồng định hướng thiết kế.

5. Phù hợp tiêu chuẩn Việt Nam: Tiêu chuẩn TCVN yêu cầu một số điểm kỹ thuật mà thiết kế mới phải tuân theo, chẳng hạn: vật liệu đường ống foam phải là thép không gỉ dày $\geq 1,5$ mm do bọt foam có tính ăn mòn; phải có van chống chảy ngược ngăn nước lẫn vào bồn foam; phải có hệ thống tẩy rửa sau khi phun foam; toàn bộ hệ thống đường ống chịu được áp suất lớn nhất mà không rò rỉ. Qua mô tả, xe Ziegler đã đáp ứng các yêu cầu này: ống bơm và van đều bằng hợp kim chống ăn mòn, có van một chiều tại đường hút bồn foam và van xả súc rửa foam như đã nêu. Điểm khác biệt có thể nằm ở dung tích bồn chứa: xe thiết kế chuyên dụng cho chữa cháy foam khu công nghiệp nên mang ít nước (2500 lít) và rất nhiều chất tạo bọt (6500 lít). Trong khi đó, xe bồn foam mới có thể hướng đến nhiệm vụ đa năng hơn, cần dự trữ nước nhiều để độc lập tác chiến khi nguồn nước ngoài hạn chế. Do vậy, thiết kế mới có thể cân nhắc tăng dung tích bồn nước (ví dụ 6.000–10.000 lít nước, 1.000–2.000 lít foam) cho phù hợp thực tiễn PCCC

tại Việt Nam. Tuy nhiên, việc này không ảnh hưởng đến cấu trúc đường ống cơ bản, mà chủ yếu tác động đến kết cấu chịu lực của xe.

Tóm lại, hệ thống đường ống của xe foam là một mô hình tham khảo tốt cho thiết kế xe foam mới, nhờ có đủ các thành phần cần thiết (tự hút, trộn, phân phối đến điều khiển, đo lường) và đã được tối ưu theo tiêu chuẩn châu Âu. Thiết kế mới có thể kế thừa phần lớn giải pháp kỹ thuật này, đồng thời điều chỉnh vài chi tiết (dung tích bồn, bố trí couplings theo tiêu chuẩn Việt Nam) để đáp ứng hoàn hảo yêu cầu nhiệm vụ và TCVN.

2.3. Thành phần chất chữa cháy và phương án thiết kế xi-téc

2.3.1. Thành phần chất chữa cháy

Bảng 2.1. Một số bọt chữa cháy thông dụng^[57]

Bọt chữa cháy	Thành phần	Ưu điểm	Nhược điểm
AFFF (Aqueous Film Forming Foam)	Hợp chất tạo màng nước	Hiệu quả cao, ít ăn mòn	Khó phân hủy, không dập được đám cháy ethanol
P (Protein)	Protein động vật	Lớp bọt dày, kháng nhiệt tốt	Thời gian bảo quản thấp, mùi khó chịu
FP (Fluoroprotein)	Hợp chất fluorine + protein foam	Lớp bọt dày, bền vững	Tạo màng chậm, gây ô nhiễm môi trường

Theo TCVN 7278-1:2003, ta lựa chọn bọt chữa cháy AFFF 3%.

2.3.2. Phương án thiết kế xi-téc

Bảng 2.2. Hình dạng mặt cắt xi-téc

Hình dạng mặt cắt xi-téc	Ưu điểm	Nhược điểm
Hình tròn	+ Chịu áp lực rất tốt, lực phân bố đều lên thành bồn. + Dễ dàng sản xuất. + Giảm biến dạng khi được áp dụng.	+ Chiều cao lớn, gây khó khăn khi gắn xe có bậc thấp. + Trọng tâm cao hơn, dễ làm mất cân bằng khi xe chuyển hướng hoặc đi tốc độ cao.



Hình 2.3. Xe chữa cháy có xi-téc hình trụ tròn.

Hình ê-líp

- + Tối ưu thể tích chứa hơn hình tròn, đồng thời vẫn có tính năng động học tốt.
- + Trọng tâm thấp, giúp xe ổn định khi chuyển hướng.

- + Khó chế tạo, giá thành cao do yêu cầu phức tạp.



Hình 2.4. Xe chữa cháy có xi-téc hình trụ ê-líp.

Hình chữ nhật

- + Sử dụng tối đa không gian.
- + Dễ dàng chế tạo, dễ dàng gia công.
- + Có thể lắp đặt sàn xe, hạ trọng tâm.

- + Kém bền khi chịu áp lực bên trong, vì áp lực tập trung ở góc.
- + Dễ bị móp, rò rỉ các mối hàn.

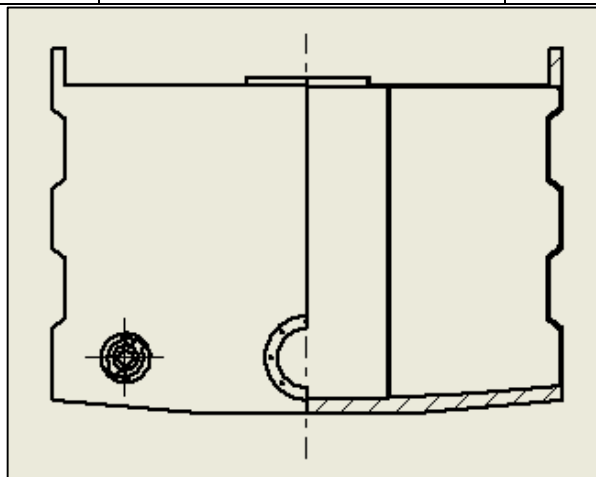


Hình 2.5. Xe chữa cháy có xi-téc hình hộp.

Hình chữ U (Hình chữ nhật có đáy cong)

- + Trọng tâm rất thấp, cực kỳ ổn định khi xe di chuyển hay chuyển hướng.
- + Dễ dàng thoát nước, giảm đọng nước, tránh han gỉ.

- + Gia công phức tạp.
- + Khó gắn thêm các thiết bị nếu hình dạng không đồng đều.



Hình 2.6. Mặt cắt xi-téc hình chữ U.

❖ Kết luận

Để phù hợp với điều kiện làm việc ở trong sân bay, các khu công nghiệp, ta lựa chọn phương án thiết kế xi-téc có dạng mặt cắt hình chữ U.

2.4. Phương án trích công suất và phương án thiết kế bơm

2.4.1. Phương án trích công suất và phương thiết kế bơm nước^[14]

a. Phương án trích công suất bơm nước

Trích công suất để truyền mô-men xoắn từ hệ thống truyền lực của ô tô đến bơm. Có thể lắp trực tiếp bộ trích công suất vào 1 cụm truyền lực, hoặc qua bộ truyền các đăng, nhưng cần đảm bảo tương ứng giữa với bơm.

Theo TCVN 13316-1:2021, những yêu cầu cơ bản của PTO bao gồm:

- Trên xe chassis phải lắp đặt PTO của động cơ. Lắp đặt PTO lấy trực tiếp từ động cơ hoặc PTO lấy từ bộ phận truyền lực (hộp số chính; hộp số phụ...).
- Bên cạnh thiết bị điều khiển PTO phải có đèn chỉ thị làm việc và có chỉ báo bằng tiếng Việt hoặc tiếng Anh.
- PTO phải được làm mát, bảo đảm thời gian làm việc liên tục không nhỏ hơn 6 giờ, nhiệt độ dầu bôi trơn trong PTO cao nhất không lớn hơn 1000 độ C.

Hộp trích công suất trên xe cứu hỏa hiện nay thường dùng là loại kiểu cơ khí, nhận mô men trực tiếp từ hệ thống truyền lực của xe và truyền mô men đến hệ thống truyền lực bơm. Hộp công suất có thể đặt trên một trong số các cụm: Hộp số chính, hộp số phụ, bộ truyền các đăng, đảm bảo tỉ số truyền tương ứng số vòng quay của bơm và động cơ.

Thường phân loại hộp trích công suất thành ba loại dựa theo vị trí của chúng trên xe cơ sở:

- Kiểu 1: Đặt ở nắp trên hộp số chính và nhận mô men từ trục chủ động của hộp số chính.
- Kiểu 2: Hộp trích công suất riêng lắp vào bộ truyền các đăng truyền từ hộp số chính đến cầu sau ô tô.
- Kiểu 3: Đặt trên hộp phân phối và trích công suất từ trục chủ động của hộp phân phối.
- Kiểu 4: Đặt bên sườn hộp số chính và trích công suất từ trục trung gian.

Trong các kiểu hộp trích công suất trên thì các kiểu 1, 3, 4 có kết cấu phụ thuộc đến hộp số chính và hộp số phụ, thường thì hộp trích công suất loại này do chính nhà máy sản xuất xe cơ sở sản xuất. Nhược điểm của phương pháp này là khi làm việc các bánh răng gài số không trong một vỏ, sự ăn khớp đúng các răng (không có lệch tâm trục) là nguyên nhân dẫn đến tuổi thọ hộp trích công suất kém. Cách lắp đặt bánh răng cũng phụ thuộc cách lắp đặt trên hộp số chính và hộp phân phối. Giới hạn thay đổi tỷ số truyền các kiểu 1-3-4 thường rất hẹp, được giới hạn bởi số răng tương ứng trên bánh răng trục chủ động hộp số và hộp phân phối và các kết cấu tiếp theo.

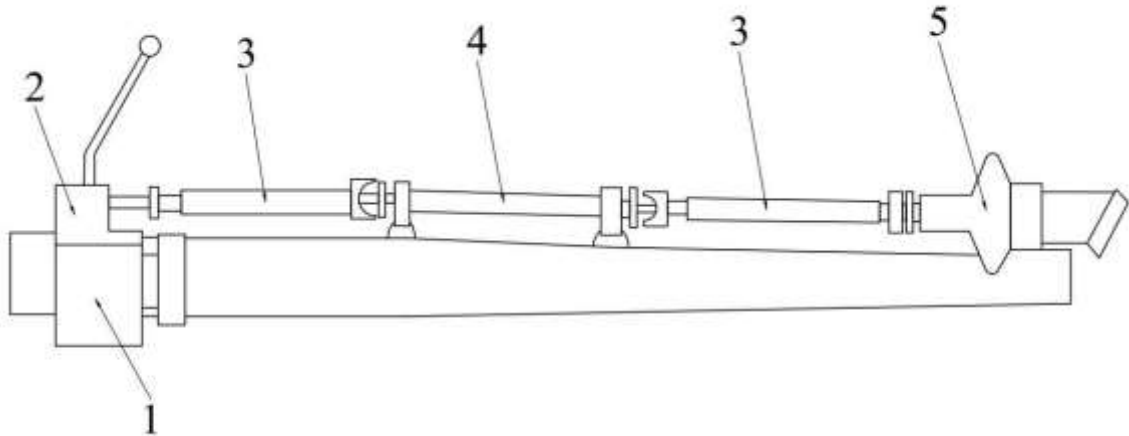
Ưu điểm của kiểu 1 (PTO đặt trên nắp hộp số chính, nhận mô-men từ trục chủ động của hộp số chính):

- Truyền động trực tiếp, ít tổn thất công suất vì lấy công suất ngay từ trục chủ động của hộp số chính, không qua nhiều trung gian nên hiệu suất truyền động cao, ít hao hụt năng lượng.
- Không cần thay đổi nhiều trong hệ thống truyền động của xe, chỉ cần thiết kế phù hợp với nắp hộp số chính.
- Nằm ngay trên hộp số chính, vị trí thuận lợi cho việc kiểm tra và bảo dưỡng mà không cần tháo rời nhiều bộ phận khác.
- Ứng dụng rộng rãi trong xe tải, xe công trình, xe cứu hỏa, xe chuyên dụng cần trích công suất để vận hành các thiết bị phụ như bơm nước, tời kéo, hoặc hệ thống thủy lực.
- Một số thiết kế cho phép trích công suất khi xe không di chuyển, rất hữu ích cho các xe chuyên dụng như xe bơm bê tông, xe cứu hỏa.

Tuy nhiên, nhược điểm là có thể làm hộp số chính nóng lên nếu hoạt động liên tục trong thời gian dài.

Kiểu 2: Không có nhược điểm như trên, các bánh răng lắp trong một hộp, không phải yêu cầu việc điều chỉnh ăn khớp. Các thông số của bộ truyền bánh răng và ổ bi không liên quan đến hộp số chính và hộp phân phối mà được lựa chọn độc lập. Hiện nay, hộp trích công suất kiểu 2 dùng trên xe có công thức bánh xe 4x2, phạm vi ứng dụng rất ít.

Lựa chọn phương án đặt hộp trích công suất theo kiểu 1 được dẫn động bởi bánh răng trực sơ cấp hộp số.



Hình 2.7. Bộ trích công suất kiểu 1

1. Hộp số chính. 2. Hộp trích công suất. 3. Các đăng.
4. Các đăng trung gian. 5. Bơm.

b. Phương án thiết kế bơm nước

Lựa chọn phương án thiết kế bơm nước và hệ thống bơm môi

Bảng 2.3. Các loại bơm thông dụng

	Bơm ly tâm	Bơm piston	Bơm trục vít
Ưu điểm	-Lưu lượng đều và ổn định với cột áp không đổi. -Nhỏ gọn và trọng lượng bé hơn so với bơm piston. -Cho phép nối trực tiếp với động cơ cao tốc không qua hộp giảm tốc -Thiết bị đơn giản. -An toàn lúc làm việc. -Ít nhạy cảm với chất lỏng có chứa các loại hạt rắn.	-Có khả năng tự hút tốt, tạo được áp suất cao, quá trình bơm hút chất lỏng nhanh và linh hoạt. -Hiệu suất làm việc cao, tổn ít lưu lượng chất lỏng, tiết kiệm chi phí. -Áp lực có thể điều chỉnh mà không ảnh hưởng đến tốc độ dòng chảy. -Vỏ bơm bằng thép, inox chống ăn mòn, chịu va đập tốt.	-Có khả năng bơm mọi loại chất lỏng, đặc biệt các loại chất lỏng siêu nhớt, siêu đặc với lưu lượng bơm cao. -Bơm được các loại hóa chất ăn mòn, chất độc, chất mài mòn mà không sợ bơm nhanh hư hỏng, dùng bơm cao su, bơm bùn đặc, bơm dầu nhớt, bơm polymer. -Tuổi thọ cao, ít hư hỏng.

	-Khối lượng sửa chữa thường kỳ nhỏ vì ít các chi tiết động. -Điều chỉnh lưu lượng đơn giản.	-Độ bền cao, ít hư hỏng, tiết kiệm chi phí bảo dưỡng, sửa chữa. -Có khả năng bơm hút chất dẻo, chất lỏng nhớt và chất mài mòn.	-Kích thước bơm khá nhỏ, dễ di chuyển, dễ bảo dưỡng, bảo trì, lắp đặt, ít rung lắc và ít gây tiếng ồn, ít sinh nhiệt khi sử dụng. -Linh kiện phụ kiện thay thế nhiều, dễ tìm. -Hiệu suất làm việc của máy bơm rất cao. -Cấu tạo đơn giản, hoạt động êm ái. -Vận hành nhanh, tiết kiệm thời gian, bảo trì bảo dưỡng chi phí thấp. -Lưu lượng lớn đáp ứng nhu cầu sử dụng của người dùng.
Nhược điểm	-Không có khả năng tự hút (Trước khi khởi động bơm cần điền đầy chất lỏng vào bánh cánh và đường ống hút) làm tăng giá thành và thiết bị của bơm thêm phức tạp. -Hiệu suất thấp khi vòng quay nhỏ. -Hiệu suất của bơm giảm nhiều khi độ nhớt của chất lỏng cần bơm tăng lên. -So với bơm piston, kích thước đường ống hút của bơm ly tâm đòi hỏi lớn hơn. -Có sự phụ thuộc giữa hiệu suất của bơm đến chế độ làm việc của nó	-Có thiết kế phức tạp, nặng và cồng kềnh gây khó khăn trong việc di chuyển. -Áp suất và lưu lượng bơm không đều, chỉ xử lý được lưu lượng chất lỏng thấp. -Chi phí bảo dưỡng, sửa chữa cao. - Giá thành cao hơn các máy bơm khác.	-Bơm trục vít có giá thành cao. -Bơm trục vít có khả năng bơm mọi yếu, khả năng hút chất bơm yếu -Bơm trục vít khó chế tạo, sửa chữa. -Khi gặp sự cố máy bơm trục vít yêu cầu kỹ thuật tay nghề cao khắc phục lỗi. -Dòng máy bơm công suất lớn không có khả năng định lượng lưu lượng chất lỏng cũng như ứng dụng bơm chiết rót.

Phạm vi ứng dụng	- Thường được ứng dụng làm bơm chính trong xe cứu hỏa. - Ứng dụng trong công nghiệp, nông nghiệp.	- Thường được sử dụng làm bơm môi chất lỏng trong xe cứu hỏa. - Ứng dụng trong xây dựng, nông nghiệp và công nghiệp.	- Thường được sử dụng để bơm hóa chất. - Ứng dụng trong ngành công nghiệp dầu khí.
-------------------------	--	---	---

Dựa trên các ưu điểm, nhược điểm và phạm vi ứng dụng. Lựa chọn phương án bơm chính là bơm ly tâm, kết hợp với hệ thống môi TROKOMAT để tối ưu hiệu suất hoạt động.

❖ Phân loại bơm ly tâm

Bơm ly tâm được phân thành nhiều loại theo nhiều đặc điểm khác nhau như:

Phân loại theo số bánh công tác lắp trên trục:

- Bơm ly tâm một cấp (có một bánh công tác lắp trên trục).
- Bơm ly tâm nhiều cấp (có nhiều bánh công tác lắp trên trục).

Theo số dòng chất lỏng qua bánh công tác:

- Bơm ly tâm một miệng hút (một dòng chất lỏng qua bánh công tác).
- Bơm ly tâm hai miệng hút (hai dòng chất lỏng qua bánh công tác).

Theo cột áp có:

- Bơm ly tâm cột áp thấp, $H = 5 - 40$ m cột nước.
- Bơm ly tâm cột áp trung bình, $H = 50 - 200$ m cột nước.
- Bơm ly tâm cột áp cao, $H \geq 200$ m cột nước.

Theo lưu lượng có:

- Bơm lưu lượng nhỏ.
- Bơm lưu lượng trung bình.
- Bơm lưu lượng lớn.

Theo vị trí của trục bơm:

- Bơm trục ngang.
- Bơm trục đứng.

Theo kết cấu vỏ:

- Bơm ly tâm hai nắp.
- Bơm ly tâm nhiều tầng.

Theo phương pháp nối trục bơm với trục động cơ:

- Bơm ly tâm nối trục trực tiếp.
- Bơm ly tâm nối trục gián tiếp.

Phân theo loại chất lỏng cần bơm và công dụng:

- Bơm nước có hàm lượng hạt rắn nhỏ và hỗn hợp chất xâm thực hóa học ít, nhiệt độ nhỏ hơn 1000 độ C.
- Bơm chất lỏng chứa nhiều bùn cát và đất hạt cứng.
- Bơm nước bẩn.
- Bơm chất lỏng hóa học.

- Bơm giếng khoan.

Dựa vào phân loại trên lựa chọn phương án bơm ly tâm một cấp (1 miệng hút).

❖ **Ưu điểm của phương án thiết kế bơm ly tâm**

Bơm ly tâm một cấp (1 miệng hút) có những ưu và nhược điểm so với các loại bơm khác (như bơm ly tâm nhiều cấp, bơm trục vít, bơm piston, bơm màng...).

Ưu điểm của bơm ly tâm một cấp (1 miệng hút):

- Cấu tạo ít bộ phận hơn so với bơm ly tâm nhiều cấp hoặc bơm piston, giúp dễ sửa chữa và bảo trì.
- Do chỉ có một cánh bơm và 1 miệng hút nên cấu tạo đơn giản nên chi phí sản xuất và vận hành thấp hơn so với các loại bơm khác như bơm ly tâm hai miệng hút hoặc bơm hai cấp.
- Phù hợp với các ứng dụng cần lưu lượng cao nhưng không yêu cầu áp suất quá lớn.
- Bơm ly tâm một miệng hút thường có hiệu suất cao trong phạm vi hoạt động nhất định.
- Hoạt động trơn tru, ít rung động hơn so với bơm piston hoặc bơm trục vít.
- Dùng nhiều trong cấp thoát nước, bơm hóa chất loãng, bơm nước tưới tiêu, hệ thống làm mát...

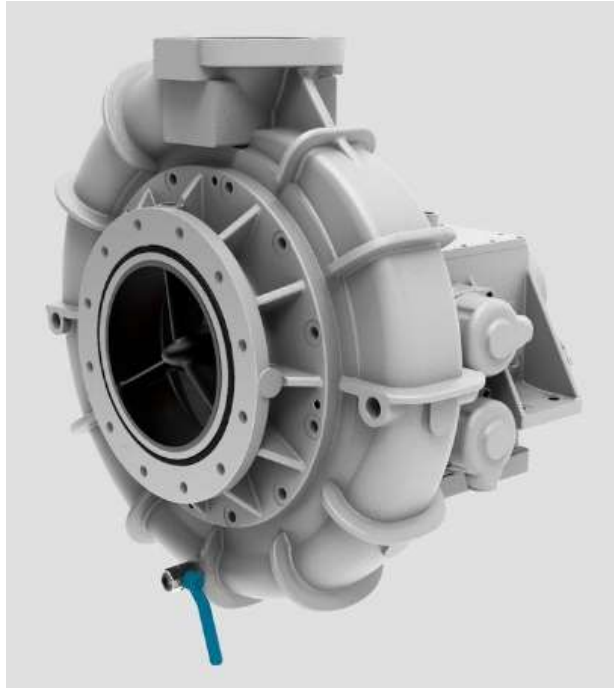
❖ **Nhược điểm của bơm ly tâm một cấp (1 miệng hút)**

- Do chỉ có một cánh bơm, áp suất tạo ra không cao bằng bơm ly tâm nhiều cấp hoặc bơm piston.
- Vì chỉ có một miệng hút, áp suất không được phân bố đồng đều trên cánh bơm, có thể gây tải lệch và mòn trục nhanh hơn.
- Không phù hợp để bơm dầu đặc, bùn, hoặc các chất có độ nhớt cao như bơm trục vít.
- Khi cần bơm lưu lượng lớn, bơm một miệng hút có thể không hiệu quả bằng bơm hai miệng hút do giới hạn thiết kế.
- Cần mồi nước trước khi vận hành nếu không có hệ thống tự mồi.
- Trong các ứng dụng cần áp suất cao (như cấp nước cho lò hơi), bơm ly tâm nhiều cấp sẽ phù hợp hơn.

Tóm lại, bơm ly tâm một cấp (1 miệng hút) phù hợp với các ứng dụng yêu cầu lưu lượng lớn, áp suất trung bình, chi phí thấp và ít bảo trì. Nếu cần áp suất cao hơn hoặc bơm chất lỏng có độ nhớt cao, có thể cần xem xét các loại bơm khác.

Kết luận: Để khắc phục những nhược điểm của bơm ly tâm 1 cấp (1 miệng hút), sử dụng bơm mồi piston.

Dựa trên các phương án trên lựa chọn bơm FNP 10-10000-1H trên xe cứu hỏa SLF 100/25-65 là loại bơm ly tâm một cấp (1 miệng hút) và hệ thống bơm mồi piston TROKOMAT PLUS.



Hình 2.8. Bơm FNP 10-10000-1H.^[14]

Bảng 2.4. Thông số kỹ thuật bơm FNP 10-10000-1H^[14]

Nhà sản xuất	ALBERT ZIEGLER GmbH and Co.Kg
Loại	FPN 10-10000-1H
Số cấp	1
Lưu lượng	10000 lít/phút
Áp suất danh định	10 bar
Độ cao hút	1,5 m
Hệ thống môi	2 TROKOMAT
Công suất đầu vào lớn nhất	330 kW

2.4.2. Phương án trích công suất và phương án thiết kế bơm dung dịch tạo bọt^[11]

a. Phương án dẫn động bơm dung dịch tạo bọt

Sau khi đã lựa chọn phương án trích công suất cho bơm nước bằng cách lắp hộp trích công suất trên nắp hộp số chính, có hai phương án chính để dẫn động cho bơm dung dịch tạo bọt như sau:

Bảng 2.5. Phương án trích công suất bơm dung dịch tạo bọt

	Trích công suất từ cùng hộp trích công suất (PTO)	Máy phát điện độc lập
Mô tả	-Sử dụng chung một hộp PTO, sau đó lắp thêm một bộ chia công suất (power divider) để đồng thời dẫn động cả bơm nước và bơm bọt.	-Máy phát điện độc lập cấp điện cho mô-tơ từ đó quay bơm bọt.
Ưu điểm	-Tận dụng được hệ truyền động hiện có. -Giảm khối lượng và không gian lắp đặt. -Dễ đồng bộ hoạt động của hai bơm.	-Điều khiển linh hoạt, dễ tự động hóa. -Có thể hoạt động độc lập hoặc đồng thời với bơm nước.
Nhược điểm	-Phức tạp trong thiết kế điều phối mô-men xoắn. -Cần tính toán tải trọng kỹ lưỡng để tránh quá tải PTO. -Nếu hai bơm có chênh lệch công suất quá lớn thì không thể sử dụng phương án này.	-Tăng chi phí và độ phức tạp. -Cần tính toán công suất máy phát phù hợp với công suất bơm bọt.

Dựa trên ưu điểm và nhược điểm trên lựa chọn máy phát điện độc lập để dẫn động bơm bọt sẽ tối ưu hơn trong trường hợp bơm dung dịch tạo bọt và bơm nước có sự chênh lệch công suất lớn

Để bố trí máy phát điện sử dụng trên xe cứu hỏa thì sẽ có hai phương pháp sau đây:

Bảng 2.6. Phương án bố trí máy phát điện

	Máy phát điện được bố trí phía sau xi-téc ở trên xe	Máy phát điện được kéo rơ-moóc phía sau xe
Ưu điểm	-Không thay đổi chiều dài xe, dễ dàng di chuyển khi quay vòng. -Triển khai nhanh: Không cần tháo lắp, chỉ cần dừng xe là có thể phát điện ngay. -An toàn giao thông tốt hơn: Không phát sinh các rủi ro do kéo theo rơ-moóc. -Giảm chi phí vận hành: Không phải bảo trì thêm một thiết bị kéo rơ.	-Linh hoạt thay thế và bảo trì: Dễ tháo rời, sửa chữa hoặc thay máy phát mà không ảnh hưởng đến cấu trúc xe chính. -Tăng công suất: Có thể dùng các máy phát lớn hơn, do không bị giới hạn bởi kích thước thùng xe. -Đa năng: Có thể tách rời để sử dụng như một nguồn phát độc lập ở các điểm khác.

Nhược điểm	-Giới hạn kích thước máy phát: Do không gian lắp đặt sau xi-téc hạn chế, không thể dùng máy phát quá lớn. -Ảnh hưởng đến trọng tâm xe: Nếu không bố trí hợp lý, có thể làm mất cân bằng hoặc vượt tải trục trước/sau. -Khó sửa chữa/đại tu: Phải tháo xe hoặc nhiều bộ phận để tiếp cận máy phát khi cần bảo trì lớn.	-Hạn chế cơ động: Xe bị kéo dài, giảm khả năng di chuyển linh hoạt trong đô thị hoặc hẻm nhỏ. -Khó quay đầu và lùi xe: Việc điều khiển xe rơ-moóc cần kỹ năng cao hơn, nhất là trong tình huống khẩn cấp. -Yêu cầu đăng kiểm riêng: Rơ-moóc cần được cấp phép, kiểm định như một phương tiện riêng biệt. -Tăng rủi ro khi vận hành tốc độ cao: Rơ-moóc có thể bị lắc, nguy hiểm khi chạy nhanh hoặc phanh gấp.
-------------------	---	---

Vì bơm dung dịch tạo bọt trên xe được thiết kế với công suất nhỏ nên lựa chọn phương án máy phát điện được bố trí phía sau xi-téc sẽ tối ưu hơn trong trường hợp này.

b. Phương án thiết kế bơm dung dịch tạo bọt

Bơm bọt (foam pump) thường sử dụng trong hệ thống chữa cháy hoặc hệ thống tạo bọt công nghiệp, và tùy vào ứng dụng cụ thể, loại bơm được sử dụng có thể khác nhau. Tuy nhiên, các loại bơm phổ biến nhất được dùng để bơm dung dịch tạo bọt bao gồm:

Bảng 2.7. Phân loại bơm dung dịch bọt cô đặc

	Bơm bánh răng	Bơm màng	Bơm trục vít
Ưu điểm	-Chính xác trong việc định lượng. -Làm việc tốt với chất lỏng có độ nhớt cao. -Áp suất cao hơn bơm ly tâm.	-Có thể xử lý hóa chất ăn mòn hoặc dễ cháy. -Tự môi tốt. -Không làm hỏng tính chất của chất tạo bọt.	-Lưu lượng ổn định, ít dao động. -Áp suất làm việc cao. -Tiếng ồn thấp. -Bơm được chất đặc, nhớt cao.
Nhược điểm	-Giá thành cao. -Nhạy cảm với hạt rắn. -Yêu cầu gia công chính xác.	-Lưu lượng thấp, không phù hợp với hệ thống lớn. -Áp suất thấp đến trung bình. -Tốc độ dòng thấp. -Tuổi thọ hạn chế.	-Giá thành cao. -Nhạy cảm với hạt rắn. -Yêu cầu gia công chính xác.

Ứng dụng	-Dầu bôi trơn, nhiên liệu nhẹ. -Hệ thống thủy lực. -Bơm định lượng, công nghiệp nhẹ, foam.	-Hóa chất, dược phẩm -Thực phẩm, sơn, mực.	- Dầu nhớt, nhiên liệu. - Bơm chất đặc, nhớt. - Máy ép, thiết bị thủy lực công nghiệp.
-----------------	--	---	--

Dựa trên các ưu điểm, nhược điểm và ứng dụng lựa chọn bơm bánh răng để bơm bọt trong xe chữa cháy.

Bơm bánh răng bao gồm bơm bánh răng ăn khớp trong và bơm bánh răng ăn khớp ngoài. Để lựa chọn được loại bơm phù hợp chúng ta cần so sánh đặc điểm của hai loại bơm này ở bảng dưới đây:

Bảng 2.8. Phân loại bánh răng bơm

	Bơm bánh răng ăn khớp trong	Bơm bánh răng ăn khớp ngoài
Cấu tạo	-Một bánh răng quay trong bánh răng lớn, có trục lệch tâm.	-Hai bánh răng đồng trục, quay ngược chiều nhau.
Ưu điểm	-Lưu lượng ổn định, đều, phù hợp cho chất lỏng nhớt. -Khả năng xử lý chất lỏng nhớt tốt hơn, phù hợp cho dung dịch tạo bọt đặc. -Khả năng tự mài tốt. -Vận hành êm ái. -Khả năng chịu mài mòn tốt..	-Lưu lượng cao hơn ở cùng tốc độ. -Cấu tạo đơn giản, dễ bảo hành và sửa chữa. -Giá thành rẻ.
Nhược điểm	-Chi phí cao. -Bảo hành và sửa chữa phức tạp.	-Dao động lớn hơn. -Khả năng tự mài kém -Khả năng xử lý chất lỏng nhớt kém hơn. -Khả năng chịu mài mòn kém dễ bị ăn mòn nếu bơm dung dịch có tính ăn mòn cao.
Ứng dụng	Phù hợp khi cần bơm dung dịch có độ nhớt cao, hoạt động liên tục.	Hệ thống cần lưu lượng lớn, chi phí thấp.

Dựa vào bảng so sánh trên lựa chọn bơm bánh răng ăn khớp trong để bơm dung dịch tạo bọt trong xe cứu hỏa.

2.5. Phương án thiết kế lăng phun và hệ thống đường ống

2.5.1. Yêu cầu kỹ thuật đối với hệ thống đường ống và lăng phun

a. Yêu cầu kỹ thuật

❖ Đường ống

- Phải được chế tạo từ vật liệu chịu được áp suất và không bị ăn mòn bởi chất tạo bọt.
- Kích thước và độ dày của ống phải phù hợp để đảm bảo lưu lượng và áp suất cần thiết.
- Hệ thống đường ống cần được thiết kế để giảm thiểu tổn thất áp suất và đảm bảo an toàn trong quá trình vận hành.

❖ Lăng phun

- Phải có khả năng tạo bọt với độ nở và độ bền phù hợp theo yêu cầu chữa cháy.
- Thiết kế phải đảm bảo khả năng điều chỉnh góc phun và lưu lượng để phù hợp với các tình huống cháy khác nhau.
- Vật liệu chế tạo lăng phun cần chịu được tác động của môi trường và không bị ảnh hưởng bởi chất tạo bọt.

b. Tiêu chuẩn áp dụng (NFPA 11, TCVN 7278-1:2003)

NFPA 11: Tiêu chuẩn của Hiệp hội PCCC Quốc gia Hoa Kỳ, quy định về hệ thống bọt chữa cháy, bao gồm thiết kế, lắp đặt và bảo trì. Tiêu chuẩn này cung cấp hướng dẫn chi tiết về các loại hệ thống bọt, yêu cầu về thiết bị và hiệu.

TCVN 7278-1:2003: Tiêu chuẩn Việt Nam quy định các yêu cầu kỹ thuật đối với chất tạo bọt chữa cháy độ nở thấp dùng phun lên bề mặt chất lỏng cháy không hòa tan được với nước. Tiêu chuẩn này xác định các tính chất và hiệu quả cần thiết của chất tạo bọt, đảm bảo khả năng kiểm soát, dập tắt và ngăn chặn việc cháy lại của các đám cháy.

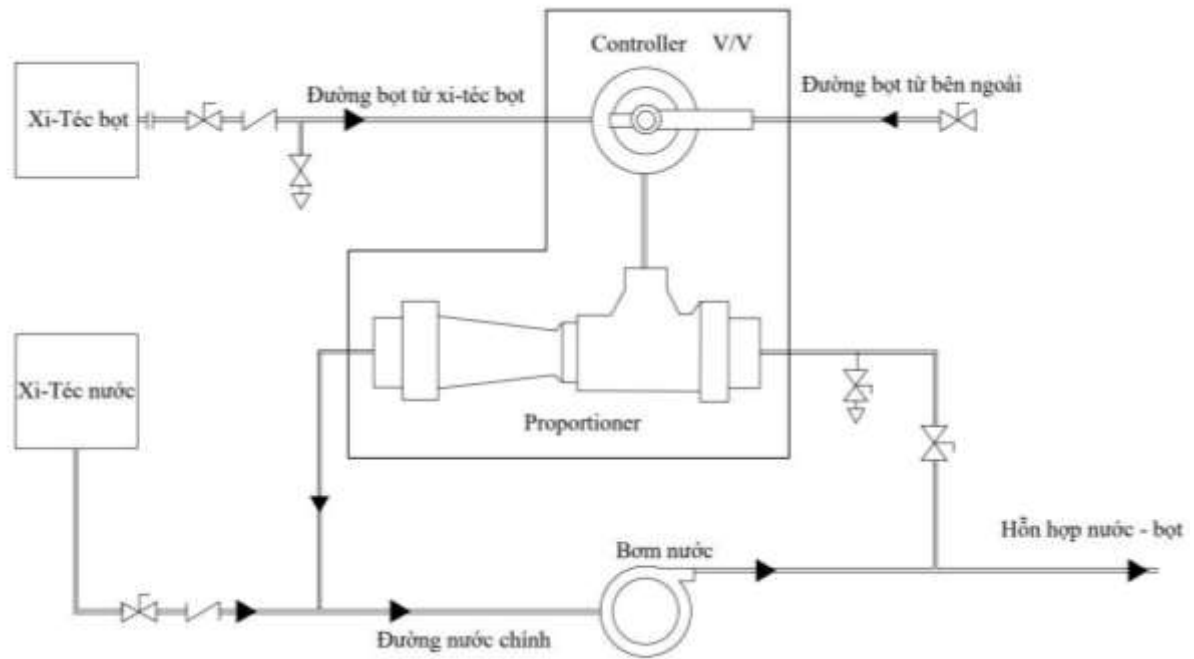
2.5.2. Phương án thiết kế hệ thống đường ống

❖ Đề xuất các phương án thiết kế hệ thống đường ống

Dựa trên phân tích trên, có thể đưa ra một số phương án thiết kế hệ thống đường ống cho xe chữa cháy foam mới. Mỗi phương án khác nhau chủ yếu ở cách trộn chất tạo bọt và mức độ tự động hóa, trong khi cấu hình chung về bơm và đường ống phân phối tương tự nhau. Dưới đây là các phương án khả thi, kèm đánh giá ưu nhược điểm cho từng phương án:

Phương án 1: Hệ thống ống với bộ trộn foam kiểu venturi quanh bơm (không dùng bơm foam riêng)

Ở phương án này, xe sử dụng nguyên lý trộn foam vòng quanh bơm bằng injector venturi thay vì có bơm định lượng riêng. Cụ thể, trên một đường vòng nối từ đầu ra bơm trở về đầu hút sẽ gắn một injector venturi. Khi cần tạo foam, một phần lưu lượng nước từ bơm sẽ chảy qua venturi này, tạo vùng áp suất âm để hút chất tạo bọt từ tép foam vào dòng nước. Hỗn hợp nước + bọt sau đó quay trở lại hòng hút và được bơm chính đẩy vào hệ thống phân phối. Tỷ lệ trộn foam được điều chỉnh bằng cỡ lỗ kim phun hoặc van trên đường hút foam, thường hiệu chỉnh cho các giá trị cố định (ví dụ 3% hoặc 6%).



Hình 2.9. Sơ đồ hệ thống ống với bộ trộn foam kiểu venturi quanh bơm.

❖ Ưu điểm

Thiết kế đơn giản, chi phí thấp: Phương án venturi không cần bơm foam riêng, giảm bớt một bộ phận đắt tiền và hệ truyền động tương ứng. Kết cấu cơ bản chỉ gồm venturi và các van, không đòi hỏi nhiều linh kiện điện tử phức tạp. Do đó, giá thành chế tạo thấp hơn, tiết kiệm chi phí đáng kể so với hệ có bơm định lượng.

Hoạt động dựa trên nguyên lý thủy lực đơn giản: Venturi hoạt động nhờ dòng nước tự nhiên, không có nhiều bộ phận chuyển động, vì vậy hệ thống này có độ tin cậy cao, ít phải bảo dưỡng.

Phù hợp khi cần sửa chữa, thay thế: Trong điều kiện thực tế ở các địa phương, nếu hệ trộn venturi hỏng, việc thay thế hoặc sửa chữa dễ dàng hơn (do cấu tạo đơn giản, có thể thay venturi tiêu chuẩn).

Đáp ứng đủ nhu cầu cơ bản: Ở lưu lượng tối đa (10000 lít/phút), một venturi đủ lớn có thể trộn được lượng foam cần thiết (tương ứng 300 lít/phút foam cho 3% hoặc 600 lít/phút cho 6%). Phương án này vẫn cung cấp hỗn hợp foam tới tất cả các lăng phun, đáp ứng nhiệm vụ chữa cháy bằng bọt.

❖ Nhược điểm:

Độ chính xác trộn thấp khi lưu lượng biến đổi: Hệ venturi phụ thuộc vào chênh áp trên venturi, do đó tỷ lệ hút foam có thể không ổn định khi lưu lượng bơm thay đổi hoặc khi nhiều đầu phun đóng/mở không đồng thời. Ở lưu lượng nhỏ, venturi có thể không tạo đủ hút để kéo foam, dẫn đến hỗn hợp bị nghèo chất tạo bọt; ngược lại ở chế độ gần tối đa, có thể hút quá mức (dư foam), gây lãng phí và sai tỷ lệ. Việc này gây khó đảm bảo tiêu chuẩn TCVN về độ chính xác tỷ lệ trộn, đặc biệt khi phải hoạt động ở nhiều chế độ lưu lượng khác nhau.

Không linh hoạt trong điều chỉnh nồng độ: Thông thường venturi được thiết kế cố định cho một tỷ lệ (hoặc hai mức cố định như 3%/6% chuyển đổi bằng van). Việc muốn

thay đổi nồng độ foam (ví dụ giảm xuống 1% cho kinh tế hoặc tăng lên mức khác) sẽ khó khăn, không “vô cấp” như hệ bơm định lượng.

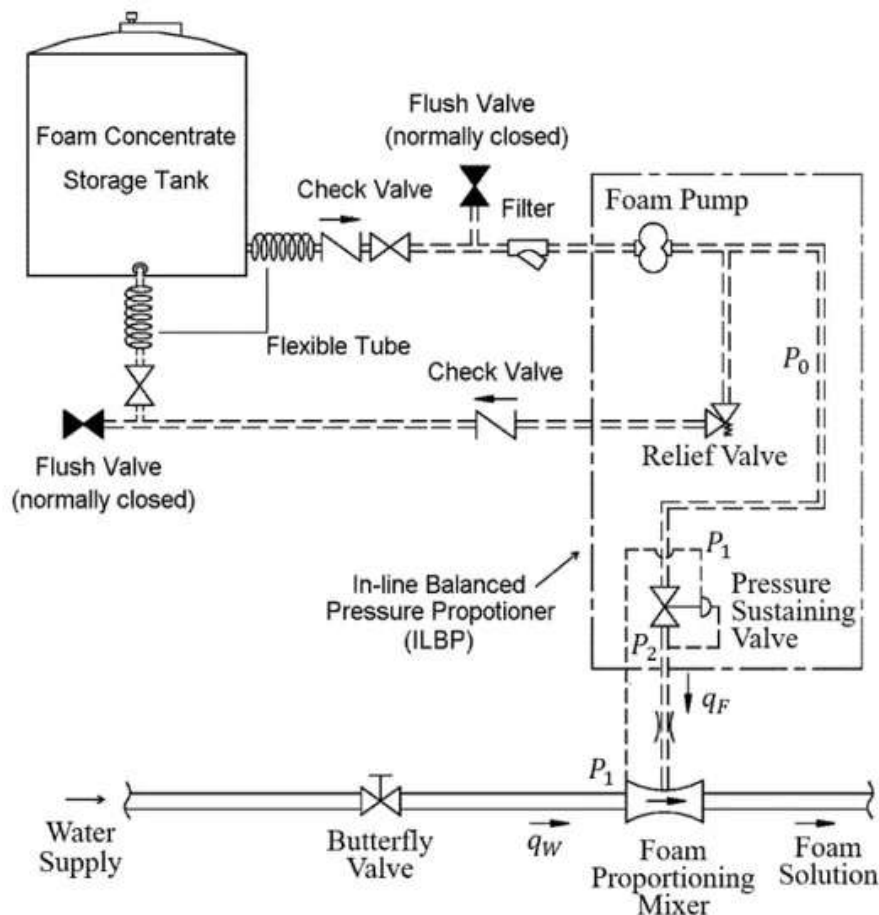
Ảnh hưởng đến hiệu suất bơm chính: Do một phần nước tuần hoàn qua vòng venturi thay vì cấp ra ngoài, hiệu suất thủy lực tổng thể của hệ thống giảm nhẹ. Bơm chính phải làm việc nặng hơn để vừa cung cấp lưu lượng chữa cháy, vừa duy trì dòng tuần hoàn venturi, dẫn đến hao tổn áp suất và công suất.

Không thể tắt foam cục bộ cho từng đầu ra: Khi hệ venturi hoạt động, toàn bộ dòng nước qua bơm đều đã trộn foam. Do đó không thể có đồng thời một số vòi phun ra nước thường và một số phun foam – điều đôi khi cần trong tình huống vừa chữa cháy chất lỏng (cần foam) vừa bảo vệ làm mát cấu kiện lân cận (cần nước). Sự thiếu linh hoạt này hạn chế khả năng bao phủ đa dạng của xe trong các kịch bản phức tạp.

Tiêu hao foam liên tục: Hệ venturi thường phải duy trì dòng tuần hoàn kể cả khi lưu lượng sử dụng thực tế thấp, điều này có thể khiến tiêu hao nhiều chất tạo bọt hơn mức cần thiết, giảm hiệu quả kinh tế khi tác chiến dài.

Tóm lại, phương án 1 thiên về giản lược chi phí và kết cấu, chấp nhận đánh đổi một phần hiệu suất và tính linh hoạt. Phù hợp nếu ưu tiên đơn giản, dễ bảo trì và ngân sách hạn chế, nhưng có rủi ro không đáp ứng đầy đủ các yêu cầu khắt khe về hiệu suất trộn và linh hoạt vận hành.

Phương án 2: Hệ thống ống với bơm định lượng foam và trộn áp lực cân bằng (proportioning pump – balanced pressure)



Hình 2.10. Sơ đồ hệ thống ống với bơm định lượng foam và trộn áp lực cân bằng.

Đây là phương án đã được áp dụng trên xe Ziegler – sử dụng bơm chất tạo bọt độc lập và thiết bị trộn tỷ lệ kiểu cân bằng áp lực. Cụ thể, một bơm bánh răng hoặc bơm piston (dung tích khoảng 400–600 Lít/phút) được dẫn động từ PTO của xe hoặc động cơ thủy lực, lấy chất tạo bọt từ bồn foam và bơm vào đường ống thông qua thiết bị trộn (van tỷ lệ cân bằng áp). Van trộn này so sánh áp suất giữa dòng nước chính và dòng foam, tự động điều chỉnh để hai bên áp lực bằng nhau, nhờ đó foam được bơm vào với lưu lượng tỷ lệ thuận với lưu lượng nước chính, theo % đã chọn. Người vận hành có thể đặt nồng độ bọt mong muốn trên bảng điều khiển (vô cấp trong khoảng 0–6%, tùy thiết kế), hệ thống sẽ điều chỉnh tốc độ bơm foam tương ứng.

❖ Ưu điểm:

Đảm bảo tỷ lệ trộn chính xác và ổn định: Do có cơ cấu cân bằng áp và điều khiển lưu lượng chủ động, phương án này đạt độ chính xác trộn cao trong mọi chế độ làm việc của bơm chính. Kể cả khi chỉ 1 vòi lăng hoạt động với lưu lượng nhỏ hay đồng thời cả 6 lăng + lăng giá hoạt động tối đa, nồng độ foam vẫn gần như không đổi, đáp ứng tiêu chuẩn và đảm bảo hiệu quả chữa cháy tối ưu.

Điều chỉnh linh hoạt nồng độ foam: Hệ thống cho phép chọn bất kỳ tỷ lệ % nào trong giới hạn (thường 1%–6%) thông qua núm vặn hoặc giao diện điện tử, rất linh hoạt để phù hợp với loại chất cháy và chiến thuật (ví dụ đám cháy xăng dầu có thể chỉ cần 3% foam AFFF, trong khi cháy dung môi phân cực cần 6% foam).

Hiệu suất thủy lực cao: Không như venturi làm thất thoát áp lực, bơm định lượng đưa foam trực tiếp vào dòng chảy mà không rút lưu lượng nước từ bơm chính. Do đó, bơm nước tập trung toàn bộ công suất cho chữa cháy, không bị giảm áp, đảm bảo hiệu suất tối đa.

Cho phép cấp nước thường song song foam: Khi bơm foam hoạt động, có thể linh hoạt đóng/mở van foam tại từng nhánh (nếu thiết kế thêm) – ví dụ muốn lăng giá phun foam trong khi 1-2 lăng tay phun nước làm mát – điều này khả thi bằng cách không mở cấp foam vào các nhánh đó (hoặc đơn giản tắt bơm foam, khi đó tất cả là nước thường). Phương án này về cấu trúc cho phép phục vụ đa mục tiêu trên hiện trường, tăng khả năng bao phủ.

Tích hợp tính năng súc rửa dễ dàng: Bơm foam có thể dùng để bơm nước sạch súc xả đường ống foam sau khi chữa cháy (thường bằng cách cắm ống hút foam vào tank nước sạch và vận hành bơm foam vài phút). Nhờ vậy, hệ thống dễ bảo trì, tránh đóng cặn.

Có thể cấp foam ra ngoài: Như cấu hình Ziegler, bơm foam độc lập có thể tận dụng để cung cấp foam concentrate cho hệ khác (qua đường output DN50) – tính năng này mở rộng phạm vi sử dụng khi cần chi viện chất tạo bọt cho đám cháy lớn (phương án venturi không làm được, vì không có bơm foam rời).

❖ Nhược điểm

Chi phí đầu tư cao: Rõ ràng, bổ sung bơm định lượng, bộ van trộn tự động, cảm biến và mạch điều khiển PLC làm tăng đáng kể chi phí chế tạo. Đây là nhược điểm chính so với phương án venturi.

Kết cấu phức tạp hơn: Hệ thống có nhiều thành phần (bơm phụ, đường ống foam áp lực cao, van điều khiển, bộ điều tốc hoặc biến tần cho bơm foam...), kéo theo việc bảo trì bảo dưỡng đòi hỏi kỹ thuật cao hơn. Nhân viên vận hành cần được huấn luyện sử dụng hệ thống tự động tránh sai sót.

Phụ thuộc nguồn năng lượng phụ: Bơm foam cần truyền động (có thể từ PTO hộp số, hoặc động cơ điện/hydraulic riêng). Điều này tạo thêm tải cho động cơ xe; nếu hệ truyền động phụ trục trực, chức năng tạo foam sẽ bị ảnh hưởng. Tuy nhiên nhược điểm này có thể giảm thiểu bằng thiết kế hợp lý (vd. Truyền động thủy lực độc lập để điều chỉnh linh hoạt tốc độ bơm foam mà ít ảnh hưởng động cơ chính).

Trọng lượng tăng: Thêm bơm, thêm dầu thủy lực/động cơ phụ và các chi tiết khác làm tăng tổng trọng lượng xe đôi chút, giảm nhẹ tính cơ động.

Đòi hỏi linh kiện chất lượng cao: Các van, bơm bánh răng trong hệ foam phải chịu ăn mòn, vì vậy cần làm bằng vật liệu tốt (thép không gỉ, hợp kim đồng), nếu không chi phí vận hành lâu dài sẽ tăng.

Đánh giá chung, phương án 2 hướng đến hiệu suất và tính linh hoạt tối đa, phù hợp với các xe chữa cháy chuyên nghiệp đòi hỏi chất lượng cao. Mặc dù tốn kém hơn, nhưng đối với xe chữa cháy foam công suất lớn (10.000 Lít/phút) – thường được sử dụng tại các khu công nghiệp xăng dầu, sân bay – thì hiệu quả dập lửa nhanh và an toàn vận hành là ưu tiên hàng đầu, do đó chi phí thêm được xem là xứng đáng.

Phương án 3: Hệ thống ống với trộn foam theo từng nhánh độc lập (điều khiển foam phân vùng)

Phương án này mang tính mở rộng, nhằm tăng tính linh hoạt phân vùng cao hơn nữa cho hệ thống. Thay vì trộn foam tập trung tại một điểm rồi phân phối chung, phương án 3 đề xuất bố trí hệ thống trộn foam riêng cho mỗi cụm đầu ra hoặc mỗi nhánh (nhóm lăng). Ví dụ, 6 họng phun tay có thể chia làm 2 cụm, mỗi cụm có một venturi hoặc van phun foam riêng; lăng giá trên nóc có thể có đường foam điều khiển tách biệt. Thậm chí, cực đoan hơn, mỗi họng phun có một venturi nhỏ (gắn ngay tại họng hoặc trong thân lăng phun). Téc foam sẽ cấp chất tạo bọt tới các venturi/van này qua một ống góp foam áp lực thấp, và tại mỗi nhánh ra, van điện tử sẽ kiểm soát việc cấp foam hay không. Điều này tương tự cách thức một số hệ thống CAFS (bọt nén khí) điều khiển foam/khí trên từng đường ống ra, nhưng ở đây ta xem xét dưới góc độ foam hóa chất thông thường (không bổ sung khí nén).

❖ Ưu điểm

Điều khiển linh hoạt từng vùng chữa cháy: Ưu điểm nổi trội nhất là có thể tùy chọn bật/tắt foam cho từng họng hoặc từng nhóm họng độc lập. Người chỉ huy chữa cháy có thể quyết định lăng A phun nước thường để làm mát, lăng B phun foam để dập lửa xăng dầu, cùng một thời điểm từ một xe, đáp ứng nhiều mục tiêu chiến thuật đồng thời. Đây là mức linh hoạt tối đa mà hệ thống tập trung không dễ có.

Giảm lãng phí foam: Khi một số lăng không cần foam, hệ thống sẽ không cấp foam vào các nhánh đó, do đó tiết kiệm chất tạo bọt hơn so với hệ thống tập trung (vốn khi bật lên sẽ trộn foam cho toàn bộ dòng, dù có thể không dùng hết). Đặc biệt trong các sự cố nhỏ hơn dự tính, việc chỉ dùng foam ở 1-2 lăng giúp tiết kiệm chi phí chất chữa cháy.

Tiếp tục hoạt động khi một cụm hỏng: Nếu một bộ trộn nhánh bị sự cố, các nhánh khác không bị ảnh hưởng – tăng khả năng dự phòng cho hệ thống. Xe vẫn có thể phun foam ở các lăng còn lại.

Tối ưu cho nhiều loại foam: Phương án này mở khả năng (dù hiếm) là trang bị nhiều loại foam khác nhau cho các nhánh khác nhau (ví dụ foam A cho lăng giá, foam B cho lăng tay) nếu có thêm nhiều téc foam – điều không thực tế lắm trên xe cỡ này, nhưng về lý thuyết hệ phân vùng hỗ trợ tốt hơn.

❖ **Nhược điểm**

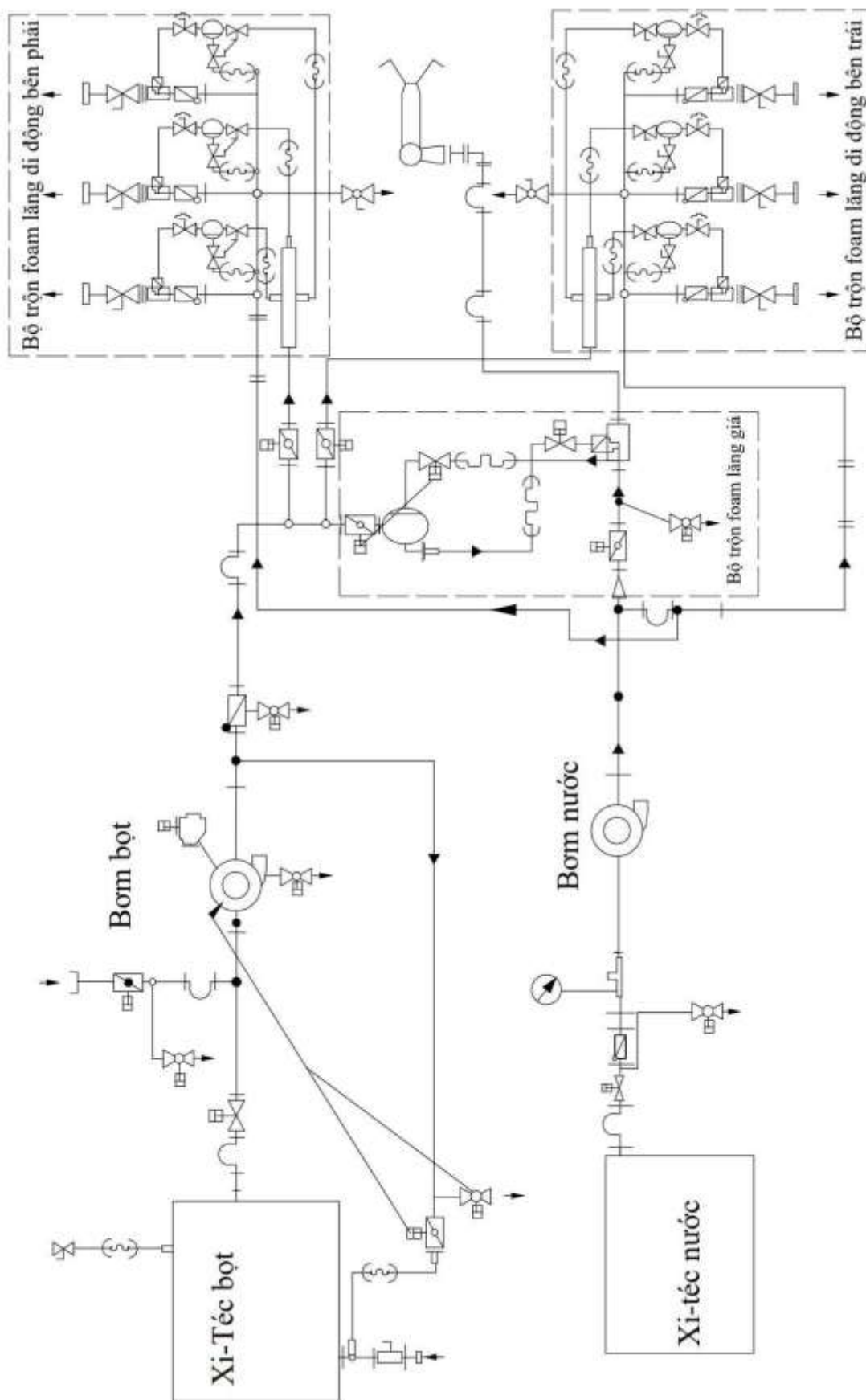
Cấu tạo cực kỳ phức tạp: Rõ ràng, việc thêm bộ trộn/van cho mỗi nhánh làm tăng rất nhiều chi tiết: hàng loạt venturi hoặc van kim, van điện điều khiển, cảm biến lưu lượng từng nhánh, đường ống dẫn foam tới từng nhánh... Hệ thống trở nên phức tạp, cồng kềnh, đòi hỏi lắp đặt chính xác và đồng bộ. Điều này mâu thuẫn với yêu cầu thiết kế xe chữa cháy là phải đơn giản, tin cậy tối đa.

Khó bảo trì và tốn kém: Nhiều thiết bị hơn đồng nghĩa nhiều điểm có thể hỏng hơn. Việc kiểm tra, bảo dưỡng từng bộ phận tốn công sức và chi phí. Nếu một cảm biến hoặc van nhánh bị lỗi, sẽ cần chẩn đoán và thay thế phức tạp. Giá thành chế tạo chắc chắn cao nhất trong các phương án, và không hiệu quả kinh tế so với lợi ích mang lại (đa số tình huống chữa cháy foam không đòi hỏi chi li đến mức đó trên một xe).

Yêu cầu trình độ vận hành cao: Người vận hành phải kiểm soát được cấu hình foam của từng vòi – điều này phức tạp và có thể gây nhầm lẫn trong áp lực tình huống khẩn. Nếu sai sót (quên tắt foam khi không cần, hoặc bố trí sai), có thể lãng phí tài nguyên hoặc giảm hiệu quả chữa cháy.

Không thực sự cần thiết trong thực tiễn: Phần lớn các đám cháy mà xe foam đối phó (cháy xăng dầu bể bồn, tràn chất lỏng dễ cháy...) đều cần tắt cả các lăng phun ra bọt để phủ kín và dập lửa nhanh. Hiếm có tình huống nào xe foam phải phun đồng thời vừa nước vừa foam mà không có hỗ trợ từ xe khác. Do đó, thiết kế quá linh hoạt đôi khi không được sử dụng đến, trở nên lãng phí nguồn lực.

Nhìn chung, phương án 3 mang tính ý tưởng nhiều hơn là ứng dụng thực tiễn cho xe chữa cháy foam 10000 lít/phút. Ưu điểm về linh hoạt tuy hấp dẫn nhưng không bù đắp nổi những phức tạp, rủi ro và chi phí tăng thêm. Trong môi trường yêu cầu độ tin cậy cao như chữa cháy, phương án này khó được chấp nhận do tiềm ẩn nhiều điểm yếu về bảo trì, vận hành. Do đó, nó ít có tính khả thi nếu so với hai phương án đầu.



Hình 2.11. Sơ đồ hệ thống ống với trộn foam theo từng nhánh độc lập.

❖ Lựa chọn phương án tối ưu

Dựa trên việc phân tích ưu nhược điểm, có thể thấy Phương án 3 (hệ thống ống với trộn foam theo từng nhánh độc lập (điều khiển foam phân vùng) là phù hợp nhất cho thiết kế xe cứu hỏa foam mới. Lý do lựa chọn bao gồm:

Đáp ứng tốt các tiêu chí hiệu suất và tiêu chuẩn: Phương án 3 đảm bảo cung cấp đủ lưu lượng foam đồng bộ với 10.000 L/phút nước, duy trì chính xác nồng độ foam theo yêu cầu trong mọi điều kiện vận hành. Điều này giúp hiệu quả chữa cháy cao và tuân thủ các tiêu chuẩn TCVN, đặc biệt về độ chính xác tỷ lệ trộn và độ kín khít hệ thống ở áp lực lớn. Ngược lại, phương án 1 khó đảm bảo tỷ lệ foam khi lưu lượng thay đổi, có thể vi phạm tiêu chuẩn khi thử nghiệm

Tính linh hoạt và bao phủ: Có thể chia xe thành nhiều “vùng” foam riêng biệt. Mỗi vùng có thể điều chỉnh tỷ lệ trộn hoặc bật/tắt foam độc lập, giúp xử lý nhiều đám cháy nhỏ ở các vị trí khác nhau trên cùng một xe dễ dàng điều chỉnh nồng độ foam, chuyển đổi qua lại giữa chế độ phun nước và phun foam hoặc kết hợp (toàn bộ hoặc một phần nếu thiết kế phù hợp). Xe có thể thích ứng từ sự cố nhỏ (tiết kiệm foam với nồng độ thấp) đến thảm họa lớn (tối đa công suất với nồng độ cao) chỉ bằng thao tác trên bảng điều khiển. So sánh, phương án 1 kém linh hoạt cả về dải nồng độ lẫn việc chỉ phun nước/foam riêng rẽ, còn phương án 2 tuy linh hoạt nhưng phức tạp để vận dụng hiệu quả trong thực tế.

Độ tin cậy và bảo trì: Mỗi nhánh bổ sung van và Venturi tuy tăng chút công việc bảo trì (kiểm tra kênh dẫn, làm sạch cặn foam trên Venturi), nhưng nhìn chung các bộ phận này hoạt động bằng áp suất thuần túy nên ít hao mòn cơ học. Rosenbauer cho biết hệ Aquamatic “không cần năng lượng điện tử” và là hệ cơ học đơn giản, giúp giảm thiểu hỏng hóc. Ngoài ra, nhờ không có dòng hồi lưu foam (foam chỉ cấp khi hoạt động), hệ thống tránh được vấn đề tắc nghẽn do cặn lâu ngày. Các van một chiều, van điều khiển và Venturi có tuổi thọ cao, chỉ cần kiểm tra van thường xuyên và súc rửa Venturi theo định kỳ. Tổng thể, thiết kế này có thể bền lâu và dễ bảo dưỡng.

Yêu cầu với người vận hành: Mặc dù có nhiều nhánh xả foam, hệ thống có thể tích hợp điều khiển trung tâm (ví dụ Rosenbauer LCS) để điều chỉnh van foam hoặc tỷ lệ trộn cho từng nhánh ngay tại bảng điều khiển máy bơm. Người vận hành cần hiểu cách điều chỉnh tỷ lệ tại các van Venturi và thao tác van đóng/mở foam cho mỗi nhánh, nhưng về cơ bản cơ chế đơn giản giúp giảm thiểu thao tác phức tạp. Rosenbauer nêu rõ nhờ việc điều chỉnh tỷ lệ trộn tại chính đầu ra, máy bơm nước hoàn toàn “trắng” foam nên việc bảo trì và vận hành trở nên đơn giản và an toàn.

Tiêu chuẩn foam (TCVN 7278-1:2003): Tiêu chuẩn quốc gia quy định đặc tính chất tạo bọt (tiêu chuẩn foam loãng) chứ không đề cập trực tiếp đến thiết kế đường ống. Tuy nhiên, để phù hợp, hệ thống phải đảm bảo pha trộn đúng tỷ lệ thiết kế (thường 3 % hoặc 6 %) và không làm thay đổi tính chất foam. Hệ cân bằng áp suất có khả năng điều chỉnh tỷ lệ từ 0,5 % đến 6 %, đáp ứng giới hạn này. Ngoài ra, đặc tính foam chất lượng tốt (độ nhớt, độ ổn định bọt) sẽ được bảo toàn vì hệ trộn không sinh nhiệt hay pha loãng foam ngoài tỷ lệ cần thiết.

2.5.3. Lựa chọn phương án thiết kế lăng phun

Trong quá trình thiết kế, nhóm đã xem xét một số phương án bố trí lăng phun và hệ thống đường ống khác nhau trước khi chọn phương án tối ưu đã trình bày. Dưới đây là so sánh các phương án chính:

Bảng 2.9. Phương án thiết kế lăng phun

Phương án thiết kế	Đặc điểm chính	Ưu điểm	Nhược điểm
PA1: 1 lăng nóc + 6 lăng cầm tay	- 1 lăng cố định 6000 L/phút trên nóc - 6 vòi cầm tay (mỗi bên 3 vòi) - Bơm 10.000 lít/phút phân phối chung - Trộn foam 3% toàn hệ thống	- Lưu lượng tập trung lớn cho mục tiêu chính, tầm xa 85 m. - Điều khiển từ xa an toàn, 1 người vận hành lăng chính. - Nhiều vòi nhỏ linh hoạt bao quát xung quanh. - Hệ thống đơn giản (1 lăng lớn), chi phí thấp hơn PA2.	- Chỉ có 1 lăng chính: không thể đồng thời phun hai hướng xa khác nhau. - Phụ thuộc nhiều vào lăng nóc; nếu lăng sự cố thì chỉ còn vòi nhỏ (lưu lượng thấp hơn). - Cần nhiều nhân lực để vận hành đồng thời 6 vòi cầm tay khi tối đa.
PA2: 2 lăng nóc + 4 lăng cầm tay	- 2 lăng cố định mỗi lăng ~3000 lít/phút (trước và sau nóc xe) - 4 vòi cầm tay (mỗi bên 2 vòi) - Bơm 10.000 lít/phút chia 2 nhánh chính - Trộn foam 3%	- Có thể phun đồng thời hai hướng hoặc hai mục tiêu khác nhau ở tầm xa (mỗi lăng ~70–80 m). - Nếu một lăng hỏng, lăng còn lại vẫn đảm bảo một nửa năng lực phun. - Giảm số vòi cầm tay, giảm nhân lực cần thiết. - Phối hợp hai lăng có thể dập đám cháy cực lớn nhanh hơn (hợp lưu hai dòng foam).	- Mỗi lăng lưu lượng nhỏ hơn, khó dập điểm cháy lớn đơn lẻ bằng một lăng (chia lưu lượng). - Tầm phun mỗi lăng có thể giảm nhẹ do lưu lượng giảm. - Kết cấu nặng nề hơn (2 súng trên nóc), ảnh hưởng trọng tâm xe, cần gia cố nhiều hơn. - Chi phí cao (mua 2 bộ lăng điều khiển từ xa). - Vận hành phức tạp: cần 2 người điều khiển 2 lăng đồng thời hoặc hệ thống tự động phức tạp.

Từ bảng so sánh, có thể thấy Phương án 1 (PA1) – sử dụng một lăng giá công suất lớn và nhiều vòi phun cầm tay – có ưu thế về sự đơn giản, mạnh mẽ tập trung và kinh tế hơn. Phương án 2 (PA2) với hai lăng giá chia lưu lượng có ưu điểm về linh hoạt hướng phun nhưng đi kèm chi phí, độ phức tạp và một số hạn chế về lưu lượng đơn lẻ.

Về hiệu quả dập lửa: PA1 cho phép dồn toàn bộ 6000 lít/phút vào một điểm nếu cần, rất hữu ích cho đám cháy lớn tập trung. PA2 có thể chia hai 3000 lít/phút, tổng vẫn 6000 lít/phút, phù hợp nếu đám cháy trải rộng hai nơi, nhưng nếu đám cháy chỉ ở một chỗ thì hai lăng bắn một mục tiêu cũng không tăng lượng foam (vì giới hạn bởi tổng lưu lượng bơm). Như vậy PA2 chỉ thật sự phát huy khi có hai mục tiêu tách biệt – trường hợp ít gặp hơn so với một đám cháy lớn duy nhất.

Về vận hành: PA1 rõ ràng dễ vận hành hơn – một lăng chính điều khiển tập trung. PA2 đòi hỏi phối hợp nhịp nhàng hai lăng để tránh lăng phí chồng chéo hoặc bỏ sót vùng cháy. Điểm này trong thực tế có thể gây khó khăn, nhất là khi tầm nhìn hạn chế (khói dày, ban đêm) và chỉ huy phải đồng thời quản lý hai vòi lớn.

Xét về độ tin cậy: PA1 ít thành phần hơn (1 lăng chính), ít khả năng hỏng hóc hơn và bảo trì cũng đơn giản (chỉ một bộ điều khiển). PA2 có hai bộ phải đồng bộ, tăng nguy cơ sự cố nếu một bộ trục trặc. Tuy nhiên, ngược lại PA2 có tính dự phòng một phần: một lăng hỏng vẫn còn lăng kia hoạt động, trong khi PA1 nếu lăng duy nhất hỏng thì mất “hòa lực” chính. Do đó, phương án đề xuất PA1 cần chú trọng độ tin cậy của lăng chính (chọn thiết bị chất lượng cao, kiểm tra thường xuyên để giảm thiểu rủi ro hỏng).

Tổng hợp các mặt, phương án 1 được đánh giá vượt trội hơn về tổng thể cho nhu cầu đề ra (xe chữa cháy foam lưu lượng lớn bao phủ rộng), nhờ cân bằng tốt giữa sức mạnh dập lửa, tính linh hoạt và chi phí hợp lý.

❖ Lựa chọn phương án thiết kế tối ưu

Căn cứ trên phân tích so sánh, phương án “1 lăng trên nóc xe + 6 lăng cầm tay” (PA1) được lựa chọn là phương án thiết kế tối ưu cho xe chữa cháy bọt lưu lượng lớn. Phương án này đáp ứng đầy đủ các tiêu chí đề ra:

Hiệu suất cao: Đảm bảo khả năng phun foam mạnh mẽ, dập tắt nhanh đám cháy lớn. Lăng trên nóc xe 6000 lít/phút cho phép tấn công trực diện các đám cháy quy mô lớn, trong khi các lăng cầm tay bao quát phần còn lại, không để đám cháy bùng phát lại. Hiệu suất trộn và tạo bọt của hệ thống đạt yêu cầu, sử dụng hiệu quả từng lít nước và foam.

Phạm vi bao phủ rộng: Chỉ với một lăng cố định và các vòi cơ động, xe có thể bao phủ hầu như 360° xung quanh và tầm xa tới gần 100 m. Vùng được bảo vệ bởi foam từ xe rất lớn, phù hợp cho các khu công nghiệp, nhà xưởng rộng. Đây là mục tiêu trọng yếu mà phương án đã thực hiện tốt hơn so với các giải pháp thay thế phức tạp hơn.

Tính đơn giản và tin cậy: Hệ thống ít thành phần chính nên dễ vận hành, bảo dưỡng, giảm thiểu nguy cơ lỗi. Toàn bộ điều khiển tập trung, giúp kíp xe thao tác thuận lợi trong tình huống khẩn cấp. Phương án này cũng tối ưu về khối lượng và kết cấu – chỉ một lăng lớn trên nóc giúp trọng tâm xe vẫn thấp hơn so với gắn nhiều thiết bị nặng. Xe di chuyển an toàn, ổn định, đáp ứng được yêu cầu tiêu chuẩn về an toàn giao thông khi chở đầy nước và foam.

Chi phí hợp lý: So với phương án hai lăng, phương án một lăng lớn tiết kiệm chi phí thiết bị (chỉ mua một cụm lăng điều khiển tự động công suất cao thay vì hai cụm trung bình). Việc lắp đặt, tích hợp cũng đơn giản hơn, giúp giảm chi phí nhân công và thời gian chế tạo. Điều này quan trọng trong bối cảnh ngân sách có hạn nhưng vẫn cần xe chữa cháy hiệu quả.

Tuân thủ tiêu chuẩn: Phương án được chọn hoàn toàn phù hợp với các quy định trong TCVN 13316-3:2022 (xe chữa cháy bọt), cũng như thông lệ thiết kế theo NFPA 1901. Xe có đầy đủ trang bị theo yêu cầu (lưu lượng bơm, số lượng lăng vòi, tầm phun, hệ thống điều khiển, kết nối tiếp nước...) và thậm chí vượt một số tiêu chuẩn về khả năng phun xa. Việc tuân thủ này đảm bảo xe khi chế tạo xong sẽ được nghiệm thu và vận hành chính thức một cách thuận lợi.

Tóm lại, phương án thiết kế tối ưu đã được lựa chọn: sử dụng một lăng phun foam cố định công suất lớn 6000 lít/phút trên nóc kết hợp với 6 lăng phun cầm tay phân bố hai bên, cùng hệ thống đường ống, van và bộ trộn foam đồng bộ, điều khiển từ xa. Phương án này mang lại hiệu quả chữa cháy cao nhất trong phạm vi yêu cầu đề tài, đồng thời đảm bảo tính khả thi kỹ thuật và kinh tế. Xe chữa cháy bọt với cấu hình tối ưu này khi đưa vào hoạt động sẽ là phương tiện hữu hiệu để không chế nhanh các vụ hỏa hoạn lớn, bảo vệ an toàn cho cơ sở và lực lượng cứu hỏa.

2.6. Phương án điều khiển

2.6.1. Phương án điều khiển bơm

Phương án 1: Điều khiển lưu lượng bơm

Nguyên lý làm việc

Trong phương án này, việc điều tiết lưu lượng chất lỏng được thực hiện thông qua việc điều khiển trực tiếp tốc độ quay của bơm. Nguyên lý hoạt động của hệ thống dựa trên mối quan hệ tỷ lệ giữa tốc độ quay của bơm và lưu lượng đầu ra: khi tốc độ quay tăng, lưu lượng tăng; ngược lại, khi tốc độ giảm, lưu lượng cũng giảm tương ứng.

Để điều khiển tốc độ động cơ bơm một cách linh hoạt, hệ thống sử dụng biến tần (inverter) hoặc bộ điều tốc. PLC đóng vai trò trung tâm trong điều khiển, thực hiện việc xử lý dữ liệu từ cảm biến đầu vào và gửi tín hiệu điều khiển dạng analog (thường là 0–10V hoặc 4–20mA) đến biến tần. Biến tần sau đó thay đổi tần số dòng điện cấp cho động cơ bơm, từ đó điều chỉnh tốc độ quay và kiểm soát lưu lượng chất lỏng một cách liên tục.

Việc điều khiển lưu lượng bằng thay đổi tốc độ bơm giúp hệ thống tiết kiệm năng lượng và giảm tổn thất áp suất do hạn chế việc đóng/mở van cưỡng bức. Tuy nhiên, phương án này cũng có một số hạn chế nhất định như: phản ứng chậm hơn khi cần thay đổi lưu lượng đột ngột, yêu cầu cao về chất lượng biến tần và chi phí đầu tư lớn hơn trong một số trường hợp.

Ưu điểm

- Có thể điều tiết tổng lưu lượng toàn hệ thống (cả các lăng phun).
- Giảm tốc độ bơm giúp tiết kiệm năng lượng khi không cần lưu lượng cao.
- Phù hợp nếu toàn bộ hệ thống đều dùng chung một nguồn điều khiển lưu lượng tổng thể.

Nhược điểm

- Không thể điều tiết độc lập từng lăng phun.
- Lưu lượng bị cố định hoặc khó điều chỉnh nhanh nếu không có biến tần.
- Không tối ưu khi sử dụng nhiều lăng phun với nhu cầu khác nhau.
- Chi phí cao nếu phải tích hợp biến tần công suất lớn, chịu được môi trường khắc nghiệt.
- Phương án điều khiển bơm phù hợp nếu cần duy trì một lưu lượng ổn định và tiết kiệm năng lượng, nhưng nó có thể không linh hoạt khi cần điều chỉnh tỷ lệ pha trộn chính xác hoặc thay đổi nhanh lưu lượng bọt.

Lý do không chọn

Mặc dù điều khiển lưu lượng thông qua việc thay đổi tốc độ bơm có thể mang lại lợi ích nhất định về mặt hiệu suất và tiết kiệm năng lượng, tuy nhiên phương án này không phù hợp với điều kiện thực tế của hệ thống đang được thiết kế.

Thứ nhất, hệ thống trên xe chữa cháy đã được trang bị sẵn bơm có công suất cố định, với lưu lượng danh định là 10.000 lít/phút. Đây là loại bơm không hỗ trợ điều chỉnh tốc độ, đồng nghĩa với việc không thể áp dụng giải pháp điều khiển bằng biến tần như trong phương án đề xuất. Việc thay đổi kết cấu hệ thống bơm sẽ phát sinh chi phí lớn và không khả thi về mặt kỹ thuật cũng như kinh tế.

Thứ hai, trong yêu cầu thực tế của hệ thống, cần có khả năng điều khiển lưu lượng riêng biệt cho từng lăng phun, đặc biệt là lăng phun cố định có cơ chế quay và điều chỉnh tự động. Việc điều chỉnh tổng lưu lượng bơm sẽ ảnh hưởng đến toàn bộ các lăng, gây khó khăn trong việc điều phối linh hoạt theo từng tình huống chữa cháy cụ thể.

Vì các lý do nêu trên, phương án điều khiển lưu lượng bơm bằng cách thay đổi tốc độ không được lựa chọn. Thay vào đó, hệ thống sẽ sử dụng giải pháp điều khiển góc mở van motor (MOV) để điều tiết lưu lượng tại từng nhánh cấp, đảm bảo khả năng kiểm soát độc lập và hiệu quả hơn trong điều kiện làm việc thực tế.

Phương án 2: Điều khiển độ đóng mở van bướm

Nguyên lý hoạt động

Trong phương án thứ hai, việc điều chỉnh lưu lượng nước/bọt trong hệ thống được thực hiện thông qua cơ chế điều khiển góc mở của van bướm, sử dụng motor điện tuyến tính (Motor Operated Valve – MOV). Đây là một giải pháp hiệu quả và linh hoạt, cho phép điều tiết lưu lượng một cách chính xác tại từng nhánh cấp nước, đặc biệt phù hợp với yêu cầu điều khiển độc lập cho các lăng phun trong hệ thống chữa cháy.

Nguyên lý hoạt động của hệ thống dựa trên việc điều khiển van bướm mở theo góc từ 0° đến 90° , tương ứng với mức độ lưu lượng mong muốn đi qua van. Van được gắn trực tiếp với motor điện có khả năng nhận tín hiệu điều khiển analog, thường ở dạng 4–20mA hoặc 0–10V. Tín hiệu này được xuất từ PLC dựa trên các điều kiện vận hành, chẳng hạn như áp suất, lưu lượng hoặc chế độ cài đặt của người dùng. Khi nhận được tín hiệu, motor điều chỉnh góc mở van tương ứng, từ đó điều tiết lưu lượng nước/bọt cấp cho lăng phun.

Van bướm được bố trí tại đầu vào của lăng phun tự động, cho phép điều chỉnh lưu lượng riêng biệt cho từng lăng, đặc biệt hữu ích trong các tình huống cần kiểm soát

hướng và tầm phun khác nhau. Với cơ chế đóng/mở tuyến tính, van có thể phản ứng nhanh chóng và chính xác trước các thay đổi từ chương trình điều khiển, đồng thời đảm bảo hệ thống hoạt động ổn định trong môi trường có áp lực cao và yêu cầu phản hồi nhanh như trên xe chữa cháy.

Ưu điểm

- Điều khiển chính xác lưu lượng cho từng lăng phun độc lập.
- Không cần thay đổi lưu lượng bơm, phù hợp với hệ thống đang có sẵn.
- Thời gian phản hồi nhanh, dễ dàng điều chỉnh tuyến tính theo điều kiện thực tế.
- Tương thích với PLC điều khiển trung tâm.
- Chi phí thấp hơn nhiều so với điều khiển biến tần công suất lớn.

Nhược điểm

- Nếu không điều tiết hợp lý, có thể tạo tổn thất áp lực cục bộ.
- Cần chọn đúng kích cỡ van và vật liệu phù hợp để đảm bảo độ bền

Lý do chọn

Phương án điều khiển độ mở van bướm bằng motor điện tuyến tính (MOV) được lựa chọn vì đáp ứng tốt các yêu cầu kỹ thuật và thực tế trong hệ thống phun nước/bọt của xe chữa cháy. Trước tiên, hệ thống hiện tại sử dụng bơm có lưu lượng cố định 10.000 lít/phút và không được trang bị biến tần, do đó không thể điều tiết lưu lượng bằng cách thay đổi tốc độ bơm. Điều này loại bỏ khả năng áp dụng phương án điều khiển bơm.

Bên cạnh đó, hệ thống cần khả năng điều khiển lưu lượng riêng biệt cho từng lăng phun, đặc biệt là lăng phun tự động có lưu lượng lớn lên đến 6000 lít/phút. Trong trường hợp này, việc điều tiết bằng van là phương án tối ưu, giúp kiểm soát chính xác lưu lượng cấp vào từng lăng mà không ảnh hưởng đến các nhánh còn lại.

Ngoài ra, van điều khiển bằng motor điện có ưu điểm lớn về tính ổn định và chính xác. Thiết bị này dễ dàng tích hợp vào hệ thống điều khiển PLC thông qua tín hiệu analog (0–10V hoặc 4–20mA), đảm bảo tính tương thích cao với kiến trúc điều khiển hiện có. Đặc biệt, van MOV phù hợp với môi trường vận hành khắc nghiệt trên xe cứu hỏa, nơi đòi hỏi thiết bị phải có khả năng hoạt động liên tục, chống rung lắc, và chịu được điều kiện áp lực cao.

Cuối cùng, việc sử dụng van điều khiển điện mang lại khả năng điều chỉnh nhanh và linh hoạt trong các tình huống khẩn cấp, giúp hệ thống phản ứng kịp thời với các thay đổi từ hiện trường, nâng cao hiệu quả và độ an toàn trong quá trình cứu hỏa.

Kết luận

Sau quá trình phân tích và so sánh giữa hai phương án điều khiển lưu lượng là: (1) điều khiển bằng cách thay đổi tốc độ bơm, và (2) điều khiển góc mở van bướm bằng motor điện, có thể rút ra kết luận như sau:

Xét về khả năng điều khiển lưu lượng chính xác, phương án sử dụng van bướm cho phép điều chỉnh lưu lượng một cách tuyến tính và ổn định hơn. Điều này đặc biệt quan trọng trong bối cảnh hệ thống đang sử dụng bơm có lưu lượng cố định, không có khả năng thay đổi tốc độ quay để điều tiết lưu lượng đầu ra.

Về khả năng kiểm soát lưu lượng độc lập cho từng lăng phun, phương án điều khiển bơm chỉ có thể tác động lên tổng lưu lượng toàn hệ thống. Trong khi đó, điều khiển từng van tại đầu vào các lăng phun cho phép điều chỉnh lưu lượng riêng biệt, đáp ứng yêu cầu vận hành khác nhau giữa các lăng, đặc biệt là lăng phun tự động với lưu lượng lớn và có cơ chế xoay điều chỉnh hướng.

Xét về chi phí và tính khả thi triển khai, phương án điều khiển bơm đòi hỏi phải lắp đặt biến tần công suất lớn và phức tạp, làm tăng đáng kể chi phí đầu tư và bảo trì. Trong khi đó, phương án điều khiển van bằng motor điện có cấu hình đơn giản, dễ lắp đặt, dễ tích hợp vào hệ thống PLC hiện có và chi phí đầu tư cũng hợp lý hơn.

Về khả năng phản hồi và độ ổn định, van bướm điều khiển tuyến tính có tốc độ phản ứng nhanh, dễ kiểm soát góc mở và lưu lượng, đảm bảo duy trì áp lực ổn định cho các lăng phun khi có thay đổi về góc xoay hoặc yêu cầu tầm phun.

Cuối cùng, xét về mức độ phù hợp với thực tế, hệ thống hiện tại đã được trang bị bơm cố định với lưu lượng danh định 10.000 lít/phút và không hỗ trợ biến tần. Vì vậy, phương án điều khiển bơm không còn khả thi. Trong khi đó, phương án điều khiển van điện là lựa chọn tối ưu, phù hợp với cấu trúc hệ thống và nhu cầu vận hành linh hoạt trong các tình huống khẩn cấp.

Từ những phân tích trên, có thể khẳng định rằng phương án điều khiển van bướm bằng motor điện là phương án tối ưu. Phương án này không chỉ đáp ứng đầy đủ các yêu cầu kỹ thuật và điều kiện vận hành của hệ thống, mà còn đảm bảo tính hiệu quả, linh hoạt và an toàn trong quá trình sử dụng thực tế trên xe cứu hỏa.

2.6.2. Phân tích và lựa chọn phương án thiết kế hệ thống điều khiển lăng phun

Phương án 1: Sử dụng cơ cấu quay thủ công hoàn toàn (tay quay)



Hình 2.12. Lăng phun xoay bằng tay.

Nguyên lý hoạt động

Trong phương án này, việc điều chỉnh hướng quay của lăng phun được thực hiện hoàn toàn bằng tay. Một cơ cấu cơ khí bao gồm vô lăng hoặc tay quay sẽ được nối với hệ truyền động bánh răng hoặc trục vít – bánh vít. Khi người vận hành quay tay cầm, chuyển động xoay được truyền đến trục quay của lăng phun thông qua cơ cấu truyền lực. Tốc độ và mô-men xoắn được điều chỉnh nhờ tỉ số truyền của hộp bánh răng hoặc cơ cấu giảm tốc, giúp người dùng xoay nhẹ hơn ngay cả khi lăng có trọng lượng lớn.

Ưu điểm

Phương án này có kết cấu đơn giản, dễ chế tạo và lắp đặt. Không yêu cầu hệ thống điện, PLC hay cảm biến, do đó ít bị ảnh hưởng bởi lỗi điện tử. Trong trường hợp mất nguồn hoặc hệ thống điều khiển tự động gặp sự cố, người vận hành vẫn có thể chủ động điều chỉnh hướng lăng một cách thủ công.

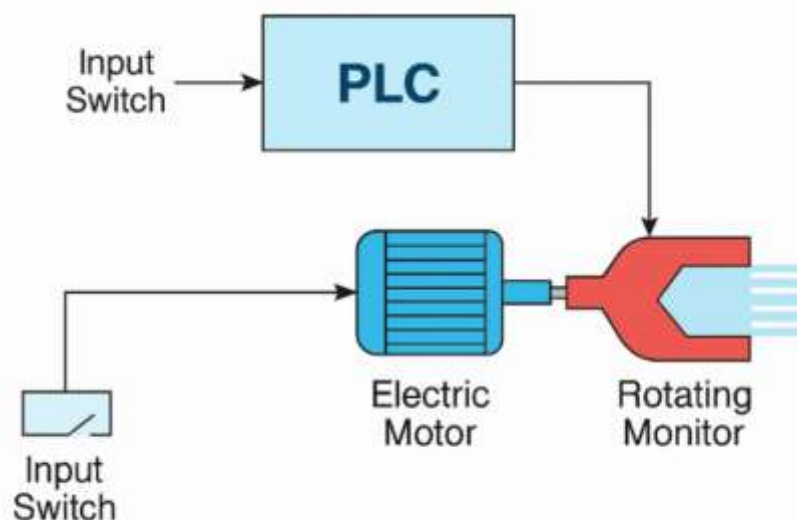
Nhược điểm

Do hoạt động hoàn toàn bằng tay nên phương án này không thể điều khiển từ xa. Quá trình điều chỉnh thủ công thường mất nhiều thời gian, độ chính xác kém và không phù hợp với các tình huống cần phản ứng nhanh. Ngoài ra, khi hệ thống đang phun ở áp suất cao, phản lực từ dòng nước/bọt sẽ rất lớn, khiến việc xoay tay trở nên khó khăn hoặc không thể thực hiện, gây nguy hiểm cho người điều khiển. Hơn nữa, nếu không có cơ cấu hãm cơ khí phù hợp, lăng phun có thể bị lệch hoặc quay ngược lại do lực phun.

Lý do không lựa chọn

Trong bối cảnh hiện đại hóa hệ thống chữa cháy và yêu cầu vận hành từ xa, việc sử dụng cơ cấu thủ công không đáp ứng được tiêu chí tự động hóa, linh hoạt và an toàn. Phương án này chỉ phù hợp với các hệ thống đơn giản, ít sử dụng hoặc làm phương án dự phòng. Do đó, phương án điều khiển thủ công hoàn toàn được loại bỏ trong quá trình thiết kế hệ thống điều khiển lăng phun tự động trên xe cứu hỏa.

Phương án 2: Sử dụng motor điện thường và điều khiển qua relay



Hình 2.13. Điều khiển sử dụng motor điện thường.

Nguyên lý hoạt động

Phương án này sử dụng một động cơ điện một chiều (DC) hoặc xoay chiều (AC) kết hợp với hệ thống điều khiển đơn giản bằng relay để điều chỉnh hướng quay của lăng phun. Motor được nối trực tiếp với trục quay lăng thông qua hộp giảm tốc. Việc điều khiển motor quay trái hoặc quay phải được thực hiện bằng cách đóng/mở các relay theo tín hiệu đầu ra từ PLC hoặc từ các nút nhấn điều khiển. Khi relay kích hoạt, dòng điện sẽ được cấp đến motor theo chiều tương ứng để điều khiển hướng quay mong muốn. Hệ thống có thể vận hành ở chế độ tay (Manual) với các nút nhấn quay trái/phải, hoặc tích hợp thêm chế độ Auto nếu có đặt trước thời gian hoặc hướng quay.

Ưu điểm

Phương án này có ưu điểm về mặt chi phí và dễ triển khai, do sử dụng các thiết bị thông dụng như motor điện và relay. Việc điều khiển không quá phức tạp, dễ lập trình, dễ lắp đặt và không đòi hỏi thiết bị chuyên dụng. Có thể kết hợp với hệ thống điều khiển bằng PLC ở mức cơ bản để tăng độ linh hoạt. Phù hợp với các ứng dụng cần tự động hóa đơn giản.

Nhược điểm

Điểm hạn chế lớn nhất của phương án này là không có tín hiệu phản hồi vị trí. Motor quay nhưng hệ thống không biết được lăng đang ở vị trí bao nhiêu độ, dẫn đến việc điều khiển theo thời gian (đếm thời gian quay) rất dễ sai lệch. Ngoài ra, nếu không có cảm biến giới hạn hoặc bộ đo vị trí, lăng phun có thể quay vượt giới hạn hoặc không chính xác với góc mong muốn. Việc điều khiển chỉ mang tính tương đối, dễ sai số nếu có tải nặng, hoặc nếu motor giảm tốc bị mòn/hỏng. Không đảm bảo độ chính xác và an toàn khi cần vận hành trong các tình huống khẩn cấp hoặc khi phải phối hợp với hệ thống phun tự động.

Lý do không lựa chọn

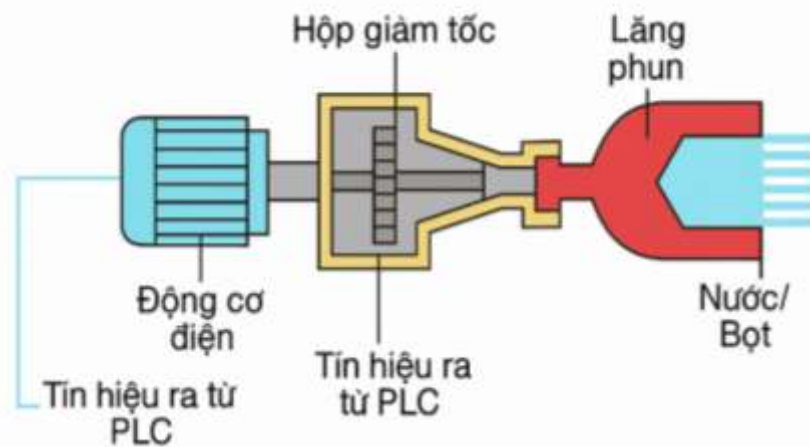
Mặc dù có khả năng tự động hóa cơ bản, nhưng phương án sử dụng motor thường và điều khiển bằng relay không có khả năng điều khiển chính xác góc quay do thiếu cảm biến phản hồi vị trí. Điều này dẫn đến sai số tích lũy theo thời gian, gây khó khăn trong việc đồng bộ với hệ thống phun áp lực cao. Bên cạnh đó, nguy cơ lăng quay lệch, chệch hướng hoặc vượt giới hạn hành trình cũng là vấn đề đáng lo ngại. Vì lý do đó, phương án này không được lựa chọn cho hệ thống lăng phun tự động yêu cầu cao về độ chính xác, tính ổn định và an toàn khi vận hành trên xe cứu hỏa.

Phương án 3: Sử dụng cụm điều khiển chuyên dụng MAZ-4000 (motor + hộp giảm tốc + cảm biến vị trí)

Nguyên lý hoạt động

Phương án này sử dụng một cụm truyền động chuyên dụng là MAZ-4000, được thiết kế đặc biệt cho các ứng dụng điều khiển lăng phun tự động trên xe cứu hỏa. Thiết bị tích hợp sẵn motor điện một chiều, hộp giảm tốc hành tinh, và cảm biến phản hồi vị trí (thường là potentiometer hoặc encoder). PLC sẽ điều khiển motor thông qua tín hiệu điều khiển tuyến tính (analog 0–10V hoặc 4–20mA) hoặc tín hiệu digital (quay trái/quay phải). Đồng thời, cảm biến bên trong cụm sẽ gửi tín hiệu phản hồi liên tục về PLC, cho phép hệ thống biết được góc quay thực tế của lăng phun tại mọi thời điểm. Hệ thống

điều khiển có thể hoạt động ở cả hai chế độ: tự động (Auto – điều khiển theo góc đặt) và thủ công (Manual – dùng nút nhấn quay trái/phải).



Hình 2.14. Sơ đồ bố trí thiết bị MAZ-4000.

Ưu điểm

Phương án này đáp ứng tốt tất cả các yêu cầu về mặt kỹ thuật và vận hành: điều khiển chính xác, có phản hồi liên tục, tương thích với PLC và HMI. Khả năng kiểm soát góc quay theo dạng tuyến tính giúp lăng phun có thể điều chỉnh hướng với độ chính xác cao, ngay cả trong điều kiện phun áp lực mạnh. Hộp giảm tốc hành tinh giúp tăng mô-men xoắn, đảm bảo lăng phun quay ổn định, không bị rung lắc và có thể tự giữ góc khi motor dừng nhờ tính năng tự hãm. Ngoài ra, cụm thiết bị MAZ-4000 được thiết kế theo tiêu chuẩn công nghiệp, có khả năng chống nước, chống bụi và chịu rung động, rất phù hợp để lắp đặt trên xe chữa cháy.

Nhược điểm

Chi phí đầu tư ban đầu cao hơn so với các phương án sử dụng motor thường. Thiết bị cần lựa chọn chính xác theo yêu cầu kỹ thuật và phải có cấu hình tương thích với PLC và giao tiếp tín hiệu. Tuy nhiên, những nhược điểm này là không đáng kể khi so sánh với lợi ích vận hành lâu dài và độ tin cậy cao.

Lý do lựa chọn

Phương án sử dụng cụm điều khiển MAZ-4000 là giải pháp tối ưu nhất về mặt kỹ thuật, tính ổn định, độ chính xác và khả năng tích hợp điều khiển hiện đại. Thiết bị này không chỉ đáp ứng yêu cầu điều khiển lăng phun tự động mà còn đảm bảo an toàn trong mọi tình huống, kể cả khi cần chuyển sang chế độ thủ công. Đây là lựa chọn phù hợp với định hướng hiện đại hóa hệ thống xe cứu hỏa, và là giải pháp được lựa chọn để triển khai trong đề tài.

Kết luận

Sau khi phân tích ba phương án thiết kế điều khiển góc quay cho lăng phun bao gồm: (1) sử dụng cơ cấu quay thủ công, (2) sử dụng motor thường kết hợp điều khiển bằng relay, và (3) sử dụng cụm truyền động chuyên dụng MAZ-4000, có thể nhận thấy

rằng mỗi phương án đều có ưu và nhược điểm riêng tùy theo mức độ tự động hóa, độ chính xác và tính thực tiễn.

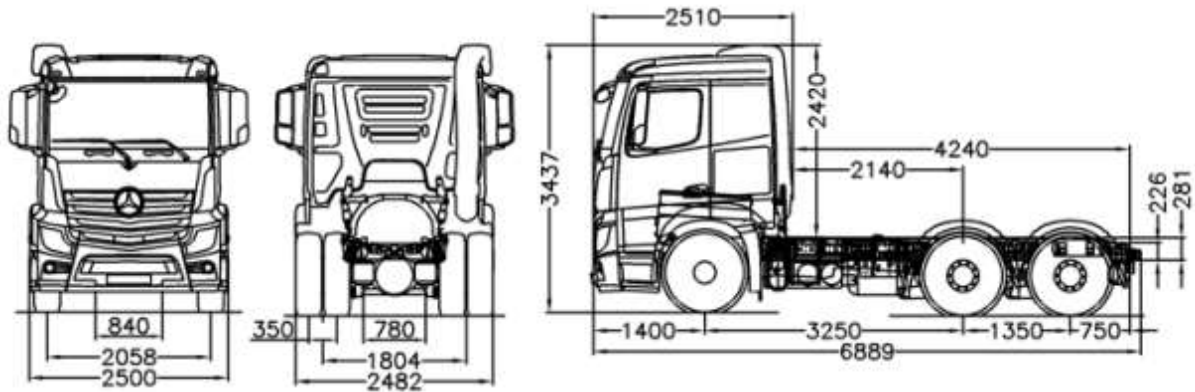
Phương án thủ công tuy có kết cấu đơn giản, dễ chế tạo và ít phụ thuộc vào điện, nhưng lại hoàn toàn không đáp ứng được yêu cầu điều khiển từ xa, không đảm bảo an toàn và không phù hợp trong các tình huống vận hành khẩn cấp của xe chữa cháy hiện đại. Phương án điều khiển bằng motor thường và relay mang lại mức độ tự động hóa cơ bản, song lại thiếu khả năng phản hồi vị trí, dẫn đến khó kiểm soát chính xác góc quay, dễ xảy ra sai số hoặc vượt quá giới hạn, ảnh hưởng đến hiệu quả và an toàn vận hành.

Ngược lại, phương án sử dụng cụm điều khiển chuyên dụng MAZ-4000 cho thấy tính ưu việt rõ rệt. Thiết bị tích hợp motor, hộp giảm tốc và cảm biến phản hồi trong một hệ thống hoàn chỉnh, cho phép điều khiển chính xác theo tín hiệu từ PLC, hỗ trợ cả chế độ tự động lẫn thủ công. Ngoài ra, thiết bị có độ bền cơ khí cao, hoạt động ổn định trong môi trường đặc thù của xe cứu hỏa, đồng thời tương thích tốt với hệ thống điều khiển công nghiệp.

Với các lý do trên, phương án sử dụng cụm truyền động MAZ-4000 được lựa chọn là giải pháp tối ưu để triển khai trong hệ thống điều khiển lăng phun tự động. Đây là giải pháp phù hợp với định hướng hiện đại hóa thiết bị cứu hỏa, đáp ứng yêu cầu kỹ thuật, đảm bảo độ chính xác, linh hoạt và an toàn trong suốt quá trình vận hành.

Chương 3: KHẢO SÁT VÀ THIẾT KẾ CẢI TẠO Ô TÔ CƠ SỞ MERCEDES-BENZ ACTROSS 3358 - 6x4

3.1. Ô tô cơ sở



Hình 3.1. Kích thước ô tô MERCEDES-BENZ ACTROSS 3358.^[58]

Bảng 3.1. Thông số chung của MERCEDES-BENZ ACTROSS 3358^[59]

THÔNG TIN CHUNG		
Biển thể + Mã xe	3358 6x4 Road-Train Prime Mover	
Tiêu chuẩn khí thải	Euro V	
Phiên bản cabin	Cabin L kiểu Classic, 2,3 m, hãm 170 mm	
Chiều dài cơ sở	3250 mm	
Chiều dài nhô sau	Khung nhô sau 750 mm	
KÍCH THƯỚC		
	Có tải	Không tải
Chiều cao khung phía trước (mm)	936	1017
Chiều cao khung phía sau (mm)	981	1006
Độ nâng/hạ trục sau (độ)	200 / -80	200 / -80
Tổng chiều cao (kể cả hút gió)	3437	
Khoảng sáng gầm phía trước (mm)	267	
Khoảng sáng gầm phía sau (mm)	244	
Khoảng hở khuyến nghị	50	
Tâm tải trọng so với trục sau (mm)	940 - 1022	

3.2. Đặc tính động học của ô tô chữa cháy^[2]

3.2.1. Tọa độ trọng tâm ô tô theo chiều dọc chassis

Bảng 3.2. Tải trọng phân bố lên mỗi cầu

Thành phần khối lượng	Đơn vị	Tổng tải trọng	Phân bố lên cầu trước	Phân bố lên cầu sau 1	Phân bố lên cầu sau 2
Khối lượng không tải	kg	23800	5200	9300	9300
Khối lượng đầy tải	kg	33000	7000	13000	13000

Chọn mốc tham chiếu là tâm cầu trước.

❖ Khi đầy tải

Khoảng cách từ trọng tâm ô tô đến tâm cầu trước:

$$a = \frac{Z_{s12} \cdot x_{s12}}{G} = \frac{26000 \cdot 5225}{33000} \approx 4117 \text{ (mm)} \quad (3.1)$$

Trong đó:

Z_{s12} - Tải trọng phân bố lên 2 trục sau

$$Z_{s12} = Z_{s1} + Z_{s2} = 13000 + 13000 = 26000 \text{ (kg)}$$

x_{s12} - Khoảng cách từ tâm cầu trước tới trọng tâm cầu sau 1, 2

$$x_{s12} = \frac{Z_{s1} \cdot x_{s1} + Z_{s2} \cdot x_{s2}}{Z_{s12}} = \frac{13000 \cdot 4500 + 13000 \cdot 5950}{26000} = 5225 \text{ (mm)}$$

❖ Khi không tải

Tính toán tương tự ta có $a \approx 4083 \text{ (mm)}$.

3.2.2. Tọa độ trọng tâm theo chiều cao xe

Bảng 3.3. Tải trọng phân bố theo độ cao

Thành phần khối lượng	Phân bố cầu	Tải trọng G(kg)	Tọa độ h(mm)
Không tải	Tổng tải trọng	23800	h_0
	Cầu trước	5200	267
	Cầu sau 1	9300	244
	Cầu sau 2	9300	244
Đầy tải	Tổng tải trọng	33000	h
	Cầu trước	7000	267
	Cầu sau 1	13000	244
	Cầu sau 2	13000	244

Căn cứ vào trị số khối lượng các thành phần và chiều cao trọng tâm của chúng ta có thể xác định chiều cao trọng tâm của ô tô thiết kế như sau:

$$h = \frac{G_t \cdot h_t + G_{s1} \cdot h_{s1} + G_{s2} \cdot h_{s2}}{G_0} \quad (3.2)$$

Tính toán ta được:

- Khi đầy tải: $h \approx 249(\text{mm})$.
- Khi không tải: $h \approx 249(\text{mm})$.

3.3. Đặc tính động lực học của ô tô chữa cháy^[1]

Bảng 3.4. Thông số kỹ thuật chung, động cơ, hộp số

THÔNG SỐ KỸ THUẬT			
Thông số	Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị
Khối lượng toàn bộ ô tô	G_0	kg	33000
Phân bố lên cầu chủ động	Z_{s12}	kg	26000
Khối lượng bản thân	G	kg	
Bán kính bánh xe	R_{bx}	mm	295
Hệ số biến dạng lốp	λ	-	0,930
Bề rộng xe tính toán	B	mm	2500
Chiều cao xe tính toán	H	mm	3600
Hệ số cản không khí	K	Ns^2/m^4	0,6
Hiệu suất truyền lực	η	-	0,85
Hệ số cản lăn	f	-	0,02
ĐỘNG CƠ			
Công suất cực đại tại số vòng quay	N / n	kW / v/ph	425 / 1800
Mô-men xoắn cực đại tại số vòng quay	M / n	Nm / v/ph	2700 / 1080
Hệ số thực nghiệm	a	-	0,7
	b	-	1,3
	c	-	1
TỶ SỐ TRUYỀN HỘP SỐ			
Số 1	i_{h1}	-	11,722
Số 2	i_{h2}	-	9,747
Số 3	i_{h3}	-	7,961
Số 4	i_{h4}	-	6,583

Số 5	i_{h5}	-	5,291
Số 6	i_{h6}	-	4,400
Số 7	i_{h7}	-	3,636
Số 8	i_{h8}	-	3,023
Số 9	i_{h9}	-	2,664
Số 10	i_{h10}	-	2,215
Số 11	i_{h11}	-	1,799
Số 12	i_{h12}	-	1,496
Số 13	i_{h13}	-	1,203
Số 14	i_{h14}	-	1,000
Số 15	i_{h15}	-	0,826
Số 16	i_{h16}	-	0,687
Tỷ số truyền lực chính	i_0	-	4,333

3.3.1. Công suất động cơ

Công thức thực nghiệm S.R. Lây Đécman:

$$N_e = N_{Max} \left[a \left(\frac{n_e}{n_N} \right) + b \left(\frac{n_e}{n_N} \right)^2 - c \left(\frac{n_e}{n_N} \right)^3 \right] \quad (3.3)$$

Trong đó:

N_e, n_e - Công suất hữu ích của động cơ và số vòng quay của trục khuỷu tương ứng với một điểm bất kỳ của đồ thị đặc tính ngoài

N_{Max}, n_N - Công suất có ích cực đại và số vòng quay ứng với công suất nói trên

a, b, c - Các hệ số thực nghiệm.

3.3.2. Mô-men xoắn trên trục khuỷu động cơ

$$M_e = \frac{10^4 \cdot N_e}{1,047 \cdot n_e} \text{ (Nm)} \quad (3.4)$$

3.3.3. Tốc độ di chuyển của ô tô

$$V = \frac{2\pi \cdot n_e \cdot R_{bx}}{60 \cdot i_{hi} \cdot i_0} \cdot 3,6 \text{ (km/h)} \quad (3.5)$$

3.3.4. Lực kéo trên bánh xe chủ động

$$P_K = \frac{M_e \cdot i_{hi} \cdot i_0}{R_{bx}} \eta \text{ (N)} \quad (3.6)$$

3.3.5. Lực cản không khí khi ô tô di chuyển

$$P_\omega = K \cdot F \cdot V^2 \quad (3.5)$$

Trong đó:

V - Vận tốc tương đối giữa ô tô và không khí, đơn vị m/s.

$$F - \text{Diện tích cần chính diện của ô tô, } F = \frac{B.H}{1000000} = \frac{2500.3000}{1000000} = 7,5 (\text{m}^2)$$

3.3.6. Lực cản tổng hợp

$$P_c = P_\psi + P_\omega \quad (3.8)$$

Trong đó:

P_ψ - Lực cản khí động khi ô tô đang di chuyển

$$P_\psi = \psi G$$

ψ - Hệ số cản tổng cộng của đường, $\psi = f \pm i$

3.3.7. Xác định nhân tố động lực của ô tô

❖ Nhân tố động lực học

$$D = \frac{P_K - P_\omega}{G} \quad (3.9)$$

❖ Gia tốc di chuyển

$$J = \frac{(D - f)g}{\delta_i} \quad (3.10)$$

Trong đó:

D - Nhân tố động lực học

J - Gia tốc di chuyển của ô tô, m/s^2

g - Gia tốc trọng trường, $g = 9,81 (\text{m/s}^2)$

δ_i - Hệ số kể đến ảnh hưởng của các khối lượng quay

$$\delta_i = 1 + 0,05(1 + i_{hi})^2$$

3.3.8 Xác định thời gian tăng tốc của ô tô

Công thức xác định thời gian ô tô tăng tốc từ V_1 đến V_2

$$t = \int_{V_1}^{V_2} \frac{1}{J} dV (\text{s}) \quad (3.11)$$

Sử dụng phương pháp đồ thị để giải tích phân này. Từ đồ thị gia tốc, chia đường cong gia tốc thành nhiều đoạn nhỏ. Giả sử trong mỗi khoảng tốc độ ứng với đoạn đường cong đó thì ô tô tăng tốc với một gia tốc không đổi.

Thời gian tăng tốc của ô tô trong khoảng tốc độ từ V_{i1} đến V_{i2} được xác định như sau:

$$\Delta t_i = \frac{V_{i2} - V_{i1}}{J_{itb} \cdot 3,6} (\text{s}) \quad (3.12)$$

Trong đó: $J_{itb} = \frac{J_{i1} + J_{i2}}{2}$

Thời gian tăng tốc từ tốc độ cực tiểu V_{min} đến vận tốc V:

$$t = \sum_{i=1}^n \Delta t_i = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 + \dots + \Delta t_n \quad (3.13)$$

3.3.9 Xác định quãng đường tăng tốc của ô tô

Công thức xác định quãng đường ô tô tăng tốc từ V_1 đến V_2 :

$$S = \int_{V_1}^{V_2} V dt \text{ (m)} \quad (3.14)$$

Sử dụng phương pháp đồ thị dựa trên đồ thị thời gian tăng tốc để giải tích phân này. Ta chia đường cong thời gian tăng tốc thành nhiều đoạn nhỏ. Giả sử trong mỗi khoảng thay đổi tốc độ tương ứng thì ô tô chuyển động đều với tốc độ trung bình

$$V_{itb} = \frac{V_{i1} + V_{i2}}{2}$$

Quãng đường tăng tốc của ô tô trong khoảng tốc độ V_{i1} đến V_{i2} :

$$\Delta S_i = \frac{V_{itb} \cdot \Delta t_i}{3,6} \text{ (m)} \quad (3.15)$$

Quãng đường tăng tốc từ tốc độ cực tiểu V_{min} đến vận tốc V :

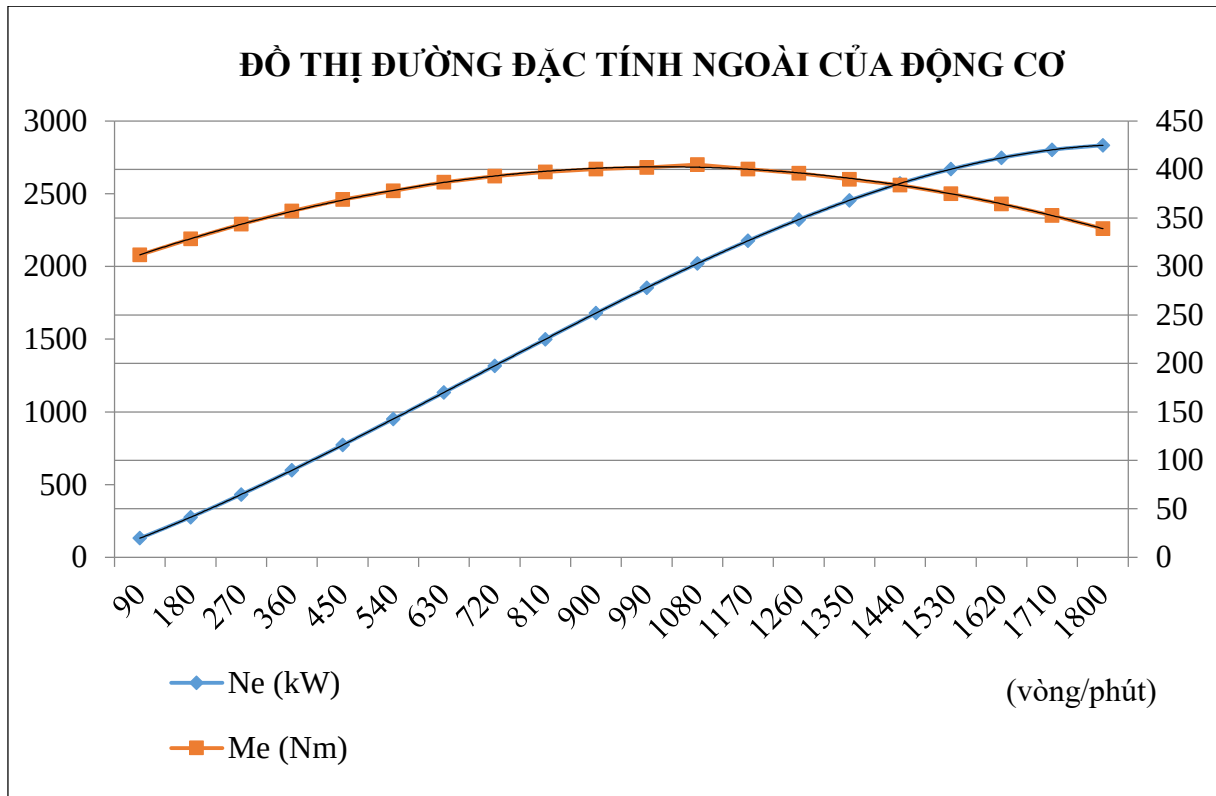
$$S = \sum_{i=1}^n \Delta S_i = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3 + \dots + \Delta S_n \quad (3.16)$$

3.3.10. Kết quả tính toán

❖ Lực và mô-men tác dụng lên động cơ

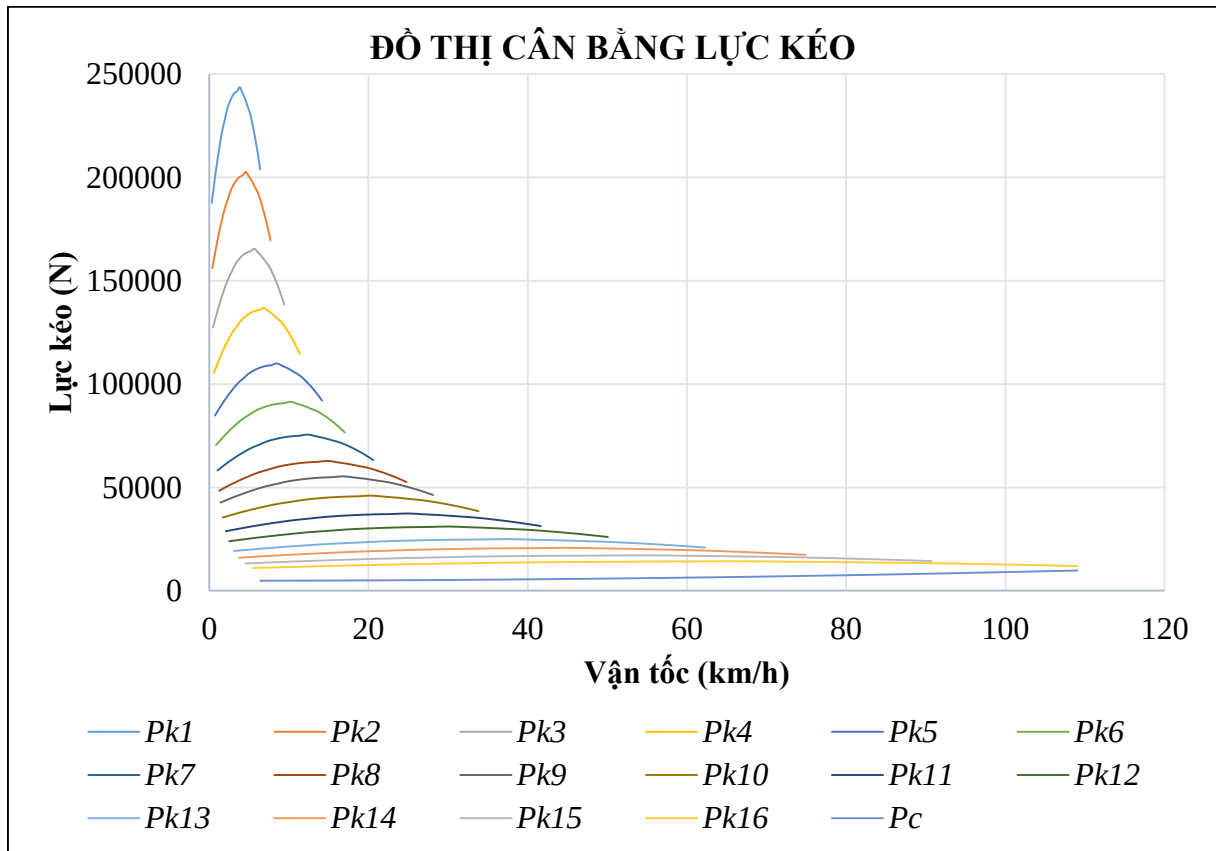
Bảng 3.5. Mô-men và công suất của động cơ

λ	n_e (v/ph)	N_e (kW)	M_e (Nm)
0,05	90	19,64	2080
0,1	180	41,35	2190
0,15	270	64,83	2290
0,2	360	89,76	2380
0,25	450	115,81	2460
0,3	540	142,67	2520
0,35	630	170,02	2580
0,4	720	197,54	2620
0,45	810	224,91	2650
0,5	900	251,81	2670
0,55	990	277,93	2680
0,6	1080	302,94	2700
0,65	1170	326,53	2670
0,7	1260	348,37	2640
0,75	1350	368,16	2600
0,8	1440	385,56	2560
0,85	1530	400,27	2500
0,9	1620	411,95	2430
0,95	1710	420,30	2350
1	1800	425,00	2260



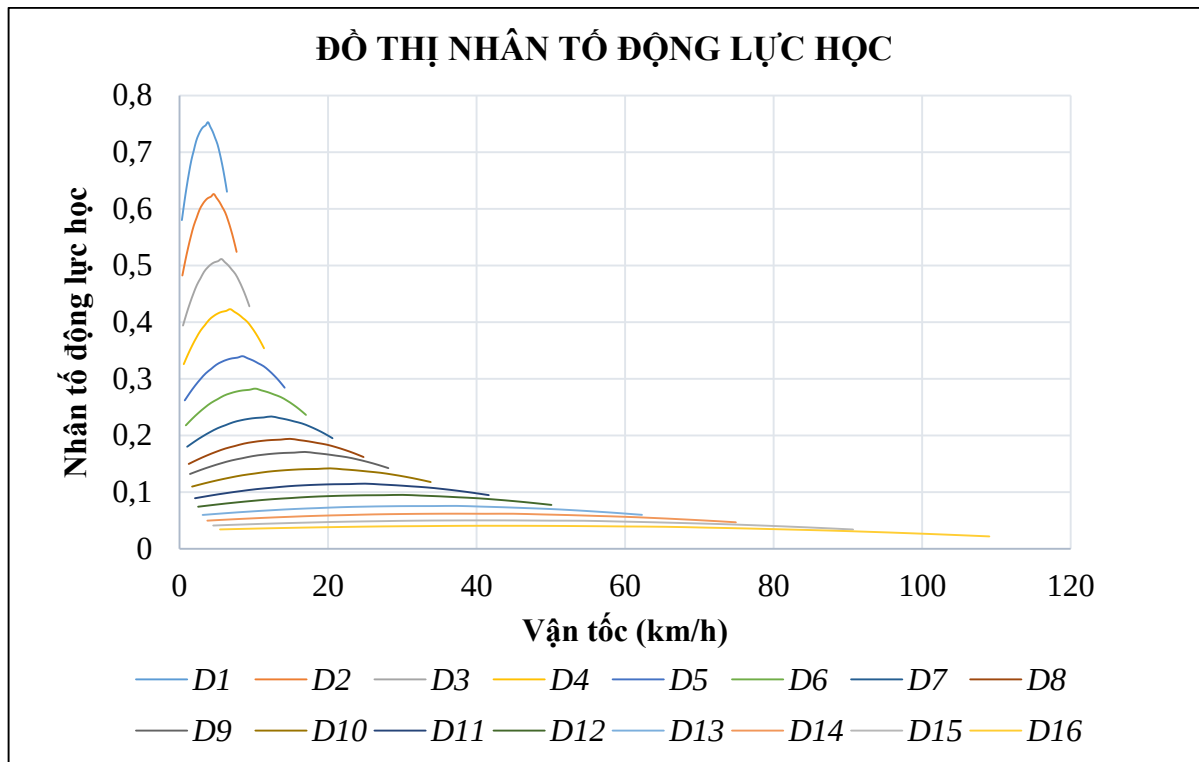
Hình 3.2. Đồ thị đường đặc tính ngoài của động cơ.

❖ **Sức kéo của ô tô**



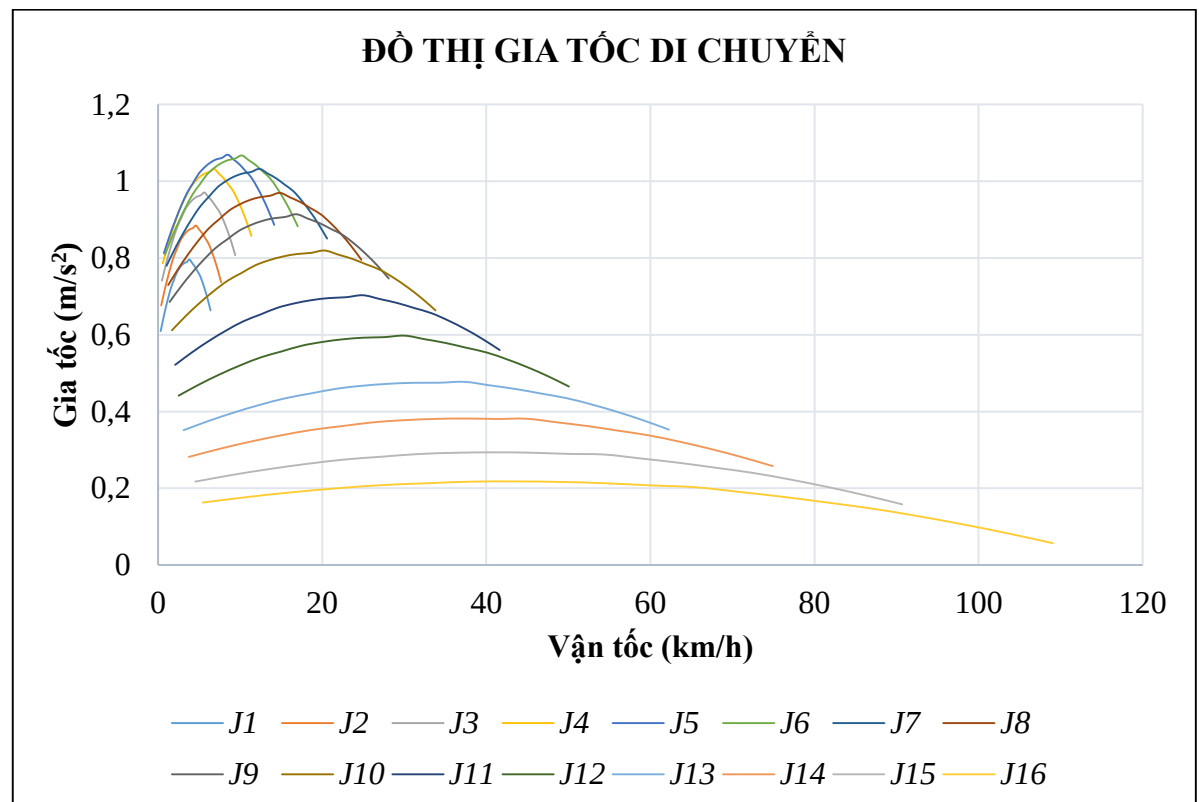
Hình 3.3. Đồ thị cân bằng lực kéo.

❖ Nhân tố động lực học



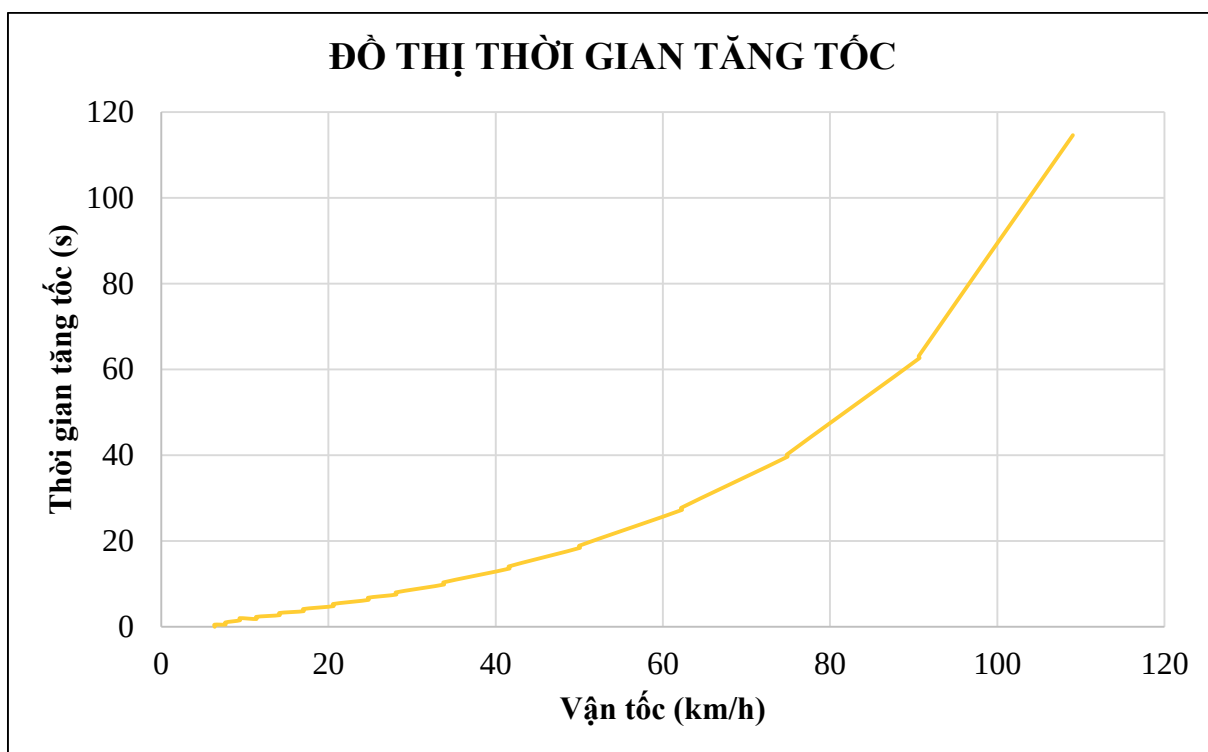
Hình 3.4. Đồ thị nhân tố động lực học.

❖ Gia tốc di chuyển



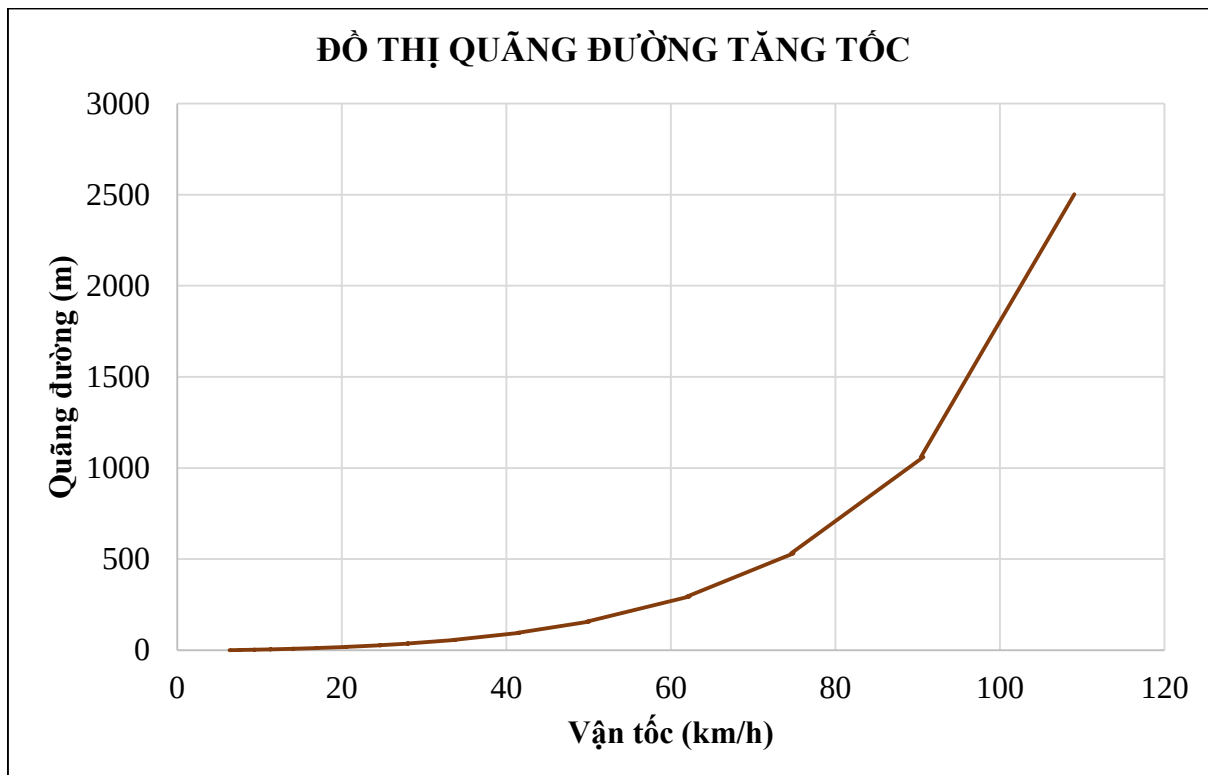
Hình 3.5. Đồ thị gia tốc di chuyển của ô tô.

❖ Thời gian tăng tốc của ô tô



Hình 3.6. Đồ thị thời gian tăng tốc của ô tô.

❖ Quãng đường tăng tốc của ô tô

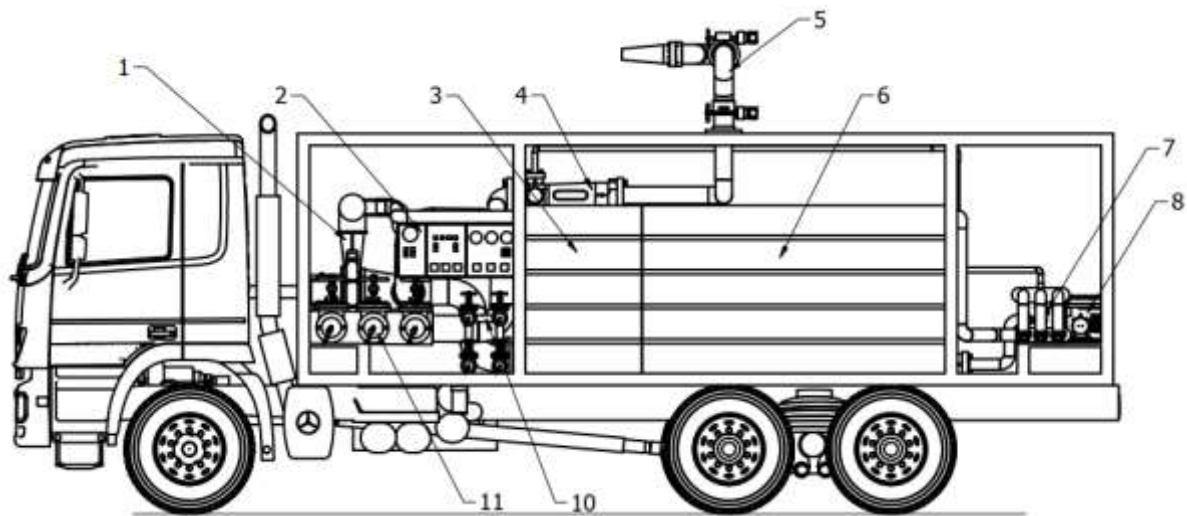


Hình 3.7. Đồ thị quãng đường tăng tốc của ô tô.

3.4. Ô tô sau khi cải tạo

3.4.1. Bố trí chung sau khi cải tạo

- Hộp trích công suất bố trí phía trên hộp số.
- Bơm ly tâm bố trí phía sau ca-bin.
- Xi-téc nước bố trí sau bơm ly tâm, xi-téc bọt bố trí phía sau xi-téc nước.
- Bảng điều khiển được bố trí ở giữa ca-bin và xi-téc.
- Hệ thống chia tỷ lệ nước/bọt của lăng phun giá cố định được bố trí phía trên xi-téc nước.
- Bố trí các thiết bị chữa cháy trên các khoang trống sao cho thuận tiện khi sử dụng.
- Bơm bọt và máy phát điện được bố trí ở khoang sau xi-téc bọt.



Hình 3.8. Sơ đồ bố trí tổng thể ô tô sau khi cải tạo

1-Bơm ly tâm; 2-Hộp điều khiển; 3-Xi-téc nước; 4-Bộ chia tỷ lệ; 5-Lăng phun; 6-Xi-téc bọt; 7-Bơm bọt; 8-Máy phát điện.

3.4.2. Đặc tính kỹ thuật của ô tô sau khi cải tạo

Bảng 3.6. Đặc tính kỹ thuật

TT	Nội dung			
1	Thông tin chung	Đơn vị	Ô tô cơ sở	Ô tô chữa cháy
1.1	Loại phương tiện		Ô tô chassis tải	Ô tô chữa cháy
1.2	Nhãn hiệu, số loại phương tiện		MERCEDES-BENZ ACTROSS 3358	SFL 100/25-65
1.3	Công thức bánh xe		6x4	
2	Thông số về kích thước			
2.1	Dài x rộng x cao	mm	6889 x 2500 x 3437	9200 x 2500 x 4000
2.2	Chiều dài cơ sở	mm	4500 + 1450	

2.3	Vệt bánh xe trước / sau	mm	2058 / 1854	
2.4	Vệt bánh xe sau phía ngoài	mm	2482	
2.5	Chiều dài đầu xe	mm	1400	
2.6	Chiều dài đuôi xe	mm	750	1500
2.7	Khoảng sáng gầm xe trước / sau	mm	267 / 244	
2.8	Góc thoát trước / sau	độ	11 / 18	11 / 15
2.9	Chiều rộng cabin	mm	2300	
2.10	Chiều rộng thùng hàng	mm	-	2500
3	Thông số về khối lượng			
3.1	Khối lượng bản thân	kg	9137	23863
3.1.1	Phân bố khối lượng lên trục trước / sau	kg	5437 / 1850x2	2563 / 11150x2
3.2	Khối lượng hàng chuyên chở cho phép tham gia giao thông không phải xin phép	kg	-	10400
3.3	Khối lượng hàng chuyên chở theo thiết kế	kg	-	9137
3.4	Số người cho phép chở kể cả người lái	người	3	6
3.5	Khối lượng toàn bộ cho phép tham gia giao thông không phải xin phép	kg	-	23863
3.5.1	Phân bố trên từng trục xe	kg	-	2563 / 11150x2
3.6	Khối lượng toàn bộ theo thiết kế	kg	33000	
3.7	Khả năng chịu tải lớn nhất trên trục trước / sau của xe cơ sở	kg	7000 / 13000x2	
4	Thông số về tính năng chuyển động			
4.1	Tốc độ cực đại của xe	km/h	109	109

4.2	Độ dốc lớn nhất xe vượt được	%	36	36
4.3	Thời gian tăng tốc của xe từ lúc khởi hành tới lúc đi được 200m	giây	-	23
4.4	Góc ổn định tĩnh ngang của xe	độ	-	-
4.5	Bán kính quay vòng theo vết bánh xe trước phía ngoài	m	8,5	
5	Động cơ			
5.1	Tên động cơ		OM 502 LA	
5.2	Loại động cơ / nhiên liệu		V8 / Diesel	
5.3	Dung tích xilanh	l	15,6	
5.4	Tỉ số nén		18,5	
5.5	Đường kính xilanh / Hành trình piston		130 /150	
5.6	Công suất lớn nhất / số vòng quay	kW / v/ph	425 / 1800	
5.7	Momen xoắn lớn nhất / số vòng quay	Nm / v/ph	2700 / 1080	
5.8	Phương thức cung cấp nhiên liệu		Phun trực tiếp	
5.9	Vị trí bố trí động cơ trên xe		Phía trước	
6	Ly hợp			
6.1	Loại		DCT	
6.2	Dẫn động		Thủy lực, trợ lực khí nén	
7	Hộp số chính, hộp số phụ		16 số tiến, 4 số lùi	
7.1	Tỷ số truyền các tay số		11,722 - 0,687	
7.2	Tỷ số truyền số lùi		10,656 - 2,014	
8	Trục các đăng			
9	Cầu xe		Cầu sau chủ động, tỷ số truyền lực chính 4.333	

10	Bánh xe và lốp			
10.1	Bánh trước		Đơn	
10.2	Lốp trước		315/80R 22.5	
10.3	Bánh sau		Kép	
10.4	Lốp sau		295/80R 22.5	
11	Hệ thống treo trước / sau			
11.1	Treo trước		Lò xo trước, 8.0 t, 3 lá	
11.2	Treo sau		Truyền động khí nén	
12	Hệ thống phanh trước / sau			
12.1	Phanh công tác (phanh chân)		Hệ thống phanh thủy lực, điều khiển bằng khí nén	
12.2	Phanh dừng đỗ (phanh tay)		Tang trống, tác động lên trục thứ cấp của hộp số, dẫn động cơ khí	
13	Hệ thống lái			
13.1	Kiểu		Trục vít ê-cu bi tuần hoàn	
13.2	Tỷ số truyền cơ cấu bánh lái		4,33	
13.3	Dẫn động lái		Cơ khí có trợ lực thủy lực	
14	Chassis		Chassis chịu lực	
15	Hệ thống điện			
15.1	Ắc quy	V / Ah	2x12 / 220	
15.2	Máy phát điện		-	
15.3	Động cơ khởi động		24V	
16	Hệ thống chữa cháy và các thiết bị sử dụng			
16.1	Xi-téc chứa nước / bọt			
16.1.1	Kích thước của xi-téc chứa nước / bọt	mm	-	1000x2000x1250 / 2640x2000x1250
16.1.2	Dung tích của xi-téc chứa nước / bọt	l	-	2500 / 6500
16.2	Bơm chữa cháy			FPN 10 - 10000 - 1H

16.2.1	Công suất trên trục bơm	kW	-	330
16.2.2	Lưu lượng	l/ph	-	10000
16.2.3	Dẫn động		-	Bơm ly tâm
16.2.4	Chiều cao cột hút lớn nhất	m	-	1,5
16.2.5	Chiều cao cột áp lớn nhất	m	-	100
16.3	Lăng phun			ZW 60
16.3.1	Áp suất phun lớn nhất	bar	-	10
16.3.2	Lưu lượng phun	l/ph	-	6000
16.3.3	Góc quay lớn nhất	độ	-	330
16.3.4	Góc nâng/hạ lớn nhất	độ	-	70/-20
16.3.5	Tầm xa lý tưởng	m	-	127,5
16.3.6	Điều khiển		-	Servo motor có bộ giảm tốc
16.4	Bộ trích công suất			
16.4.1	Mô-men	Nm	-	268
16.4.2	Tỷ số truyền		-	1 / 1.3889
16.4.3	Điều khiển		-	Đóng / ngắt bằng điện

3.5. Kiểm tra tính ổn định của chassis ô tô sau khi cải tạo

Dầm ngang được lắp lên chassis ô tô qua 30 bu lông M16. Việc tính toán dựa trên cơ sở lực ép của bu lông và hệ số làm việc của các chi tiết.

Điều kiện để không có sự xô dịch giữa dầm ngang và dầm dọc trên chassis ô tô:

$$P_{ms} > P_j$$

với:
$$P_{ms} = (p_e \cdot 2 \cdot n + m_0) \cdot f_{ms} \quad (3.17)$$

$$P_j = \frac{m_0 \cdot J_p}{g} \quad (3.18)$$

Trong đó:

p_e - Lực ép cho phép của bu lông có đường kính 16mm, $p_e = 1200 \text{ kg}^{[6]}$

m_0 - Tải trọng đặt lên chassis (không tính xe cơ sở), $m_0 = 23863 \text{ kg}$

n - Số bu lông, $n = 30$

f_{ms} - Hệ số ma sát giữa dầm ngang và dầm dọc, $f_{ms} = 0,2$

J_p - Gia tốc phanh cực đại, $J_p = 7 \text{ m/s}^2$

Thay các thông số vào ta tính được: $P_{ms} = 19172,6 \text{ kg}$

$$P_j \approx 17027,6 \text{ kg}$$

Lực tác dụng khi quay vòng:

$$P_{qv} = \frac{m_0 \cdot V_{qv}^2}{g \cdot R_{qvmin}} \quad (3.19)$$

trong đó:

V_{qv} - Vận tốc cho phép khi quay vòng, $V_{qv} = 5,55 \text{ m/s}$

R_{qvmin} - Bán kính quay vòng nhỏ nhất,

$$R_{qvmin} = \frac{L}{\tan \alpha} = \frac{4500 + 1450}{\tan 35^\circ} \approx 8497,5 \approx 8,5 \text{ (m)}$$

Tính toán được: $P_{qv} \approx 8835,3 \text{ kg}$

So sánh: $P_{ms} > P_j$ ($19172,6 \text{ kg} > 17027,6 \text{ kg}$)

$$P_{ms} > P_{qv} \text{ (} 19172,6 \text{ kg} > 8835,3 \text{ kg)}$$

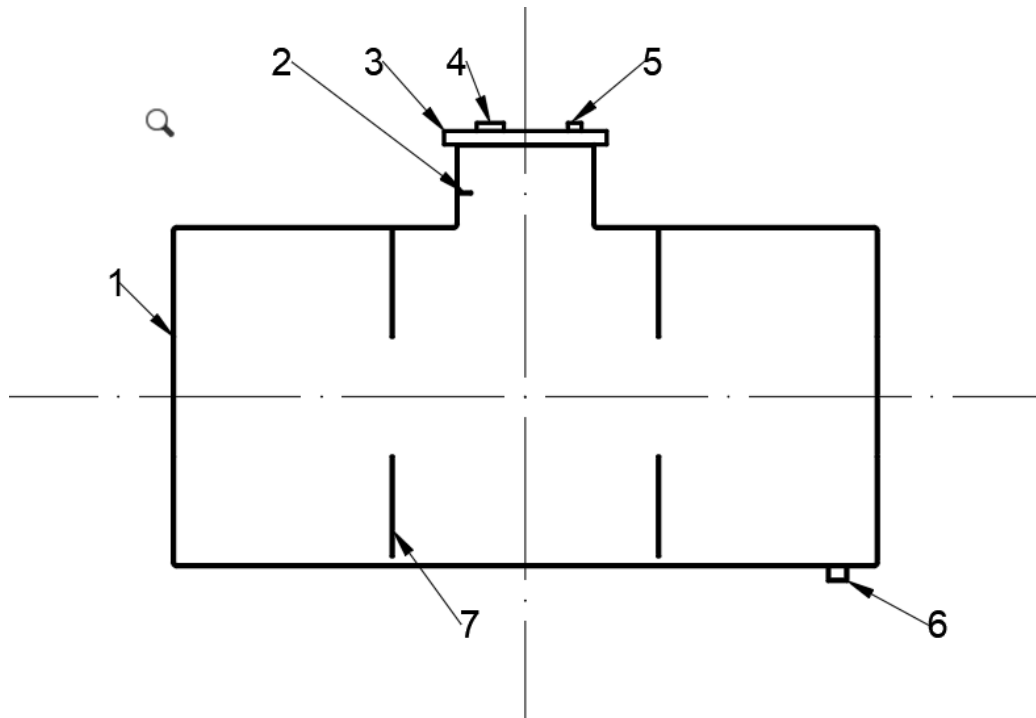
Kết luận: Trong quá trình tính toán kiểm tra độ ổn định, lực ma sát nghỉ đã giữ cho dầm ngang không bị trượt theo chiều dọc của chassis và theo chiều trọng lực. Kết quả tính toán và so sánh cho thấy việc lắp đặt khung chassis hoàn toàn ổn định, đảm bảo an toàn và hiệu quả trong quá trình vận hành.

Chương 4: THIẾT KẾ XI-TÉC

4.1. Yêu cầu kỹ thuật đối với xi-téc

4.1.1. Cấu tạo chung

Xi-téc cần phải có những bộ phận chính như hình vẽ:



Hình 4.1. Xi-téc chứa chất lỏng

- | | |
|---------------|------------------|
| 1-Vỏ xi-téc; | 5-Lỗ quan sát; |
| 2-Tấm mức; | 6-Lỗ xả; |
| 3-Nắp xi-téc; | 7-Tấm chắn sóng. |
| 4-Cửa nhập; | |

4.1.2. Yêu cầu

Xi-téc phải được lắp chắc chắn, cố định nằm song song với khung xe ô tô. Kết cấu của xi-téc phải cứng, bền chắc, đảm bảo không thay đổi dung tích khi đóng chứa và vận chuyển, chịu được áp suất dư không nhỏ hơn 0,8 bar.

Xi-téc không được méo, bẹp, thùng hay rò rỉ, mối hàn phải chắc và kín. Bên trong không được có các kết cấu làm cản trở việc thoát hết không khí khi đổ nước vào và cản trở thoát nước khi xả nước ra.

Xi-téc chứa nước phải có các tấm chắn sóng dọc-ngang; xi-téc chứa bọt cô đặc được làm bằng vật liệu chống ăn mòn và phải sơn lớp bảo vệ mặt ngoài.

Xi-téc phải đáp ứng các quy định hiện hành về an toàn, PCCC, môi trường hiện hành.

4.2. Thiết kế xi-téc chứa nước/bọt cô đặc

Quá trình thiết kế xi-téc tuân thủ theo QCVN 09^[4] của Bộ GTVT Việt Nam.

4.2.1. Chọn vật liệu chế tạo

Bảng 4.1. Vật liệu chế tạo xi-téc

Xi-téc	Yêu cầu	Chọn vật liệu
Nước	Đảm bảo chất lượng chống gỉ sét theo thời gian	Chất dẻo gia cố sợi thủy tinh^[8]
Bọt	Đảm bảo việc chống ăn mòn của hóa chất theo thời gian	Chất dẻo gia cố sợi thủy tinh^[8]

4.2.2. Kích thước kỹ thuật^[6]

Kích thước hình học của xi-téc được chọn phù hợp với kích thước khung xe ô tô sao cho tận dụng được tối ưu tải trọng xe ô tô và trọng tâm toàn xe ô tô xi-téc thấp nhất.

Khi thể tích của xi-téc lớn hơn hoặc bằng 12000 lít, độ chênh lệch của xi-téc không vượt quá 2%; khi thể tích của xi-téc nhỏ hơn 12000 lít và lớn hơn 1000 lít thì cứ giảm 1000 lít độ chênh lệch thể tích của xi-téc tăng thêm 0,1%.

Khi thể tích xi-téc lớn hơn 3000 lít, trong xi-téc phải thiết kế các tấm chắn sóng và thể tích khoang đơn giữa các tấm chắn không lớn hơn 2000 lít.

Để đáp ứng yêu cầu tính toán thiết kế, ta chọn dung tích và kích thước cho xi-téc như bảng sau:

Bảng 4.2. Dung tích và kích thước cho xi-téc

Xi-téc	Đơn vị	Nước	Bọt
Dung tích chất lỏng	lít	2500	6500
Dung tích xi-téc	lít	2500	6600
Kích thước	mm	1000x2000x1250	2600x2000x1250
Số tấm chắn sóng	-	2	2
Bố trí tấm chắn sóng	-	Dọc	Ngang
Đường kính cửa kiểm tra	mm	500	500
Đường kính bơm nạp	inches	2,5	2,5
Đường kính hút	mm	250	80

4.2.3. Mô tả kết cấu xi-téc

Xi-téc chứa nước được thiết kế để đảm bảo thể tích chứa 2500 lít. Các mặt bên, nóc, đáy được ghép từ chất dẻo gia cố sợi thủy tinh dày 10 mm dập hình tạo dáng để tăng khả năng chịu lực. Bên trong xi-téc có bố trí các tấm chắn sóng dọc để giảm dao động của nước trong xi-téc, giúp tăng tính ổn định của ô tô khi di chuyển.

Xi-téc chứa bọt được thiết kế để đảm bảo thể tích chứa 6500 lít, được chế tạo từ chất dẻo gia cố sợi thủy tinh dày 10 mm.

4.3. Tính toán kiểm tra độ ổn định của xi-téc khi đặt lên chassis

Xi-téc được lắp với dầm ngang của ô tô qua 40 bu-lông M14. Việc tính toán dựa trên cơ sở lực ép của bu-lông và hệ số làm việc của các chi tiết.

Điều kiện để không có sự xô dịch giữa xi-téc và dầm ngang: $P_{ms} > P_j$

Lực ma sát giữa xi-téc và dầm ngang:

$$P_{ms} = (p_e \cdot 2 \cdot n + m_0) \cdot f \quad (4.1)$$

Lực quán tính:

$$P_j = \frac{m_0 \cdot J_p}{g} \quad (4.2)$$

Lực tác dụng khi quay vòng:

$$P_{qv} = \frac{m_0 \cdot V_{qv}^2}{g \cdot R_{qv \min}} \quad (4.3)$$

Bảng 4.3. Thông số tính toán mỗi lắp

Thông số	Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị
Lực ép của bu-lông M14 ^[6]	p_e	kg	850
Số bu-lông liên kết xi-téc với chassis	n_{bl}	-	40
Hệ số ma sát	f_{ms}	-	0,2
Tải trọng xi-téc (đầy tải)	m_0	kg	9500
Tải trọng nước	$m_{nước}$	kg	2500
Tải trọng bọt	$m_{bọt}$	kg	6500
Gia tốc phanh	J_p	m/s ²	7
Vận tốc cho phép khi quay vòng	V_{qv}	m/s	5,55
Bán kính quay vòng cho phép	R_{qv}	m	8,5

Tính toán: $P_{ms} = 15500 \text{ kg}$

$$P_j \approx 6778,8 \text{ kg}$$

$$P_{qv} \approx 8835,3 \text{ kg}$$

So sánh: $P_{ms} > P_j$ (15500 kg > 6778,8 kg)

$$P_{ms} > P_{qv} \text{ (15500 kg > 8835,3 kg)}$$

Kết luận: Trong quá trình tính toán kiểm tra độ ổn định, lực ma sát nghỉ đã giữ cho xi-téc không bị trượt theo chiều dọc và theo chiều ngang của chassis. Kết quả tính toán và so sánh cho thấy việc lắp đặt xi-téc lên chassis hoàn toàn ổn định, đảm bảo an toàn và hiệu quả trong quá trình vận hành.

4.4. Kiểm tra bền vỏ xi-téc bằng phương pháp phân tích phần tử hữu hạn

4.4.1. Cơ sở lý thuyết

❖ Phương trình chủ đạo

Phương trình động học tổng quát:

$$M \cdot \ddot{x} + C \cdot \dot{x} + K \cdot x = F(t) \quad (4.4)$$

Trong đó:

M - Khối lượng	$\ddot{x}$ - Gia tốc
C - Hệ số giảm chấn	$\dot{x}$ - Vận tốc
K - Độ cứng	x - Giá trị chuyển vị
$F(t)$ - Hàm lực tác dụng.	

❖ Ứng suất và biến dạng

Ứng suất kỹ thuật σ là giá trị đại số tỷ lệ với ngoại lực F và diện tích mặt cắt hình học A :

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (4.5)$$

Biến dạng kỹ thuật là một phép đo tuyến tính phụ thuộc vào hình dạng ban đầu (độ dài):

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (4.6)$$

4.4.2. Phân tích điều kiện biên trong bài toán mô phỏng

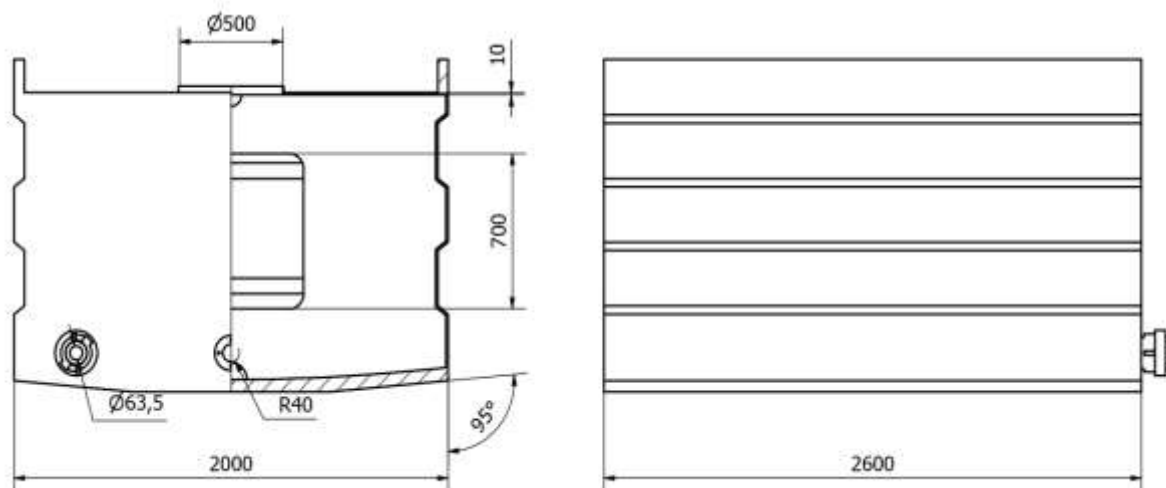
Đặc tính của xi-téc là chịu tác dụng của tải trọng thẳng đứng. Tuy nhiên, trong thực tế, khi xe di chuyển, xi-téc không chỉ chịu lực theo phương thẳng đứng mà còn chịu tải trọng ngang.

4.4.3. Thiết lập mô hình bài toán phân tích độ bền của vỏ xi-téc chứa bọt cô đặc

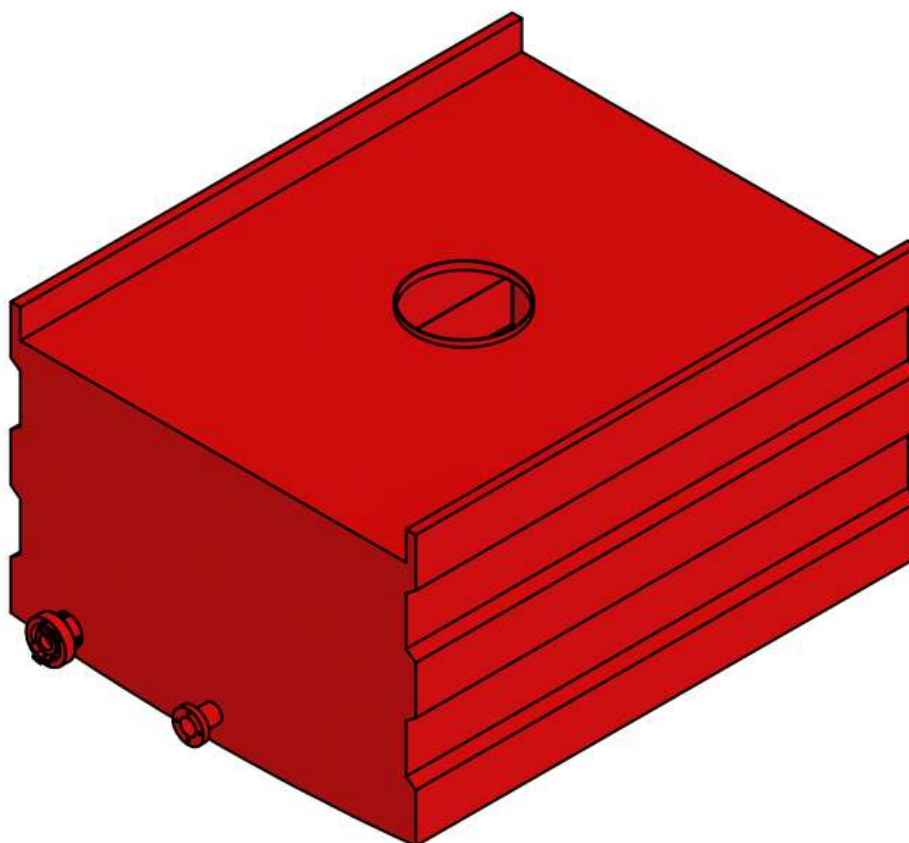
Bài toán kiểm tra bền vỏ xi-téc được ứng dụng phần mềm Autodesk Inventor.

❖ Mô hình CAD

Mô hình CAD của xi-téc được thiết kế trên phần mềm Autodesk Inventor. Sau khi thiết kế, mô hình có hình dáng và thông số được thể hiện trên Bảng 4.2, Hình 4.2, Hình 4.3.



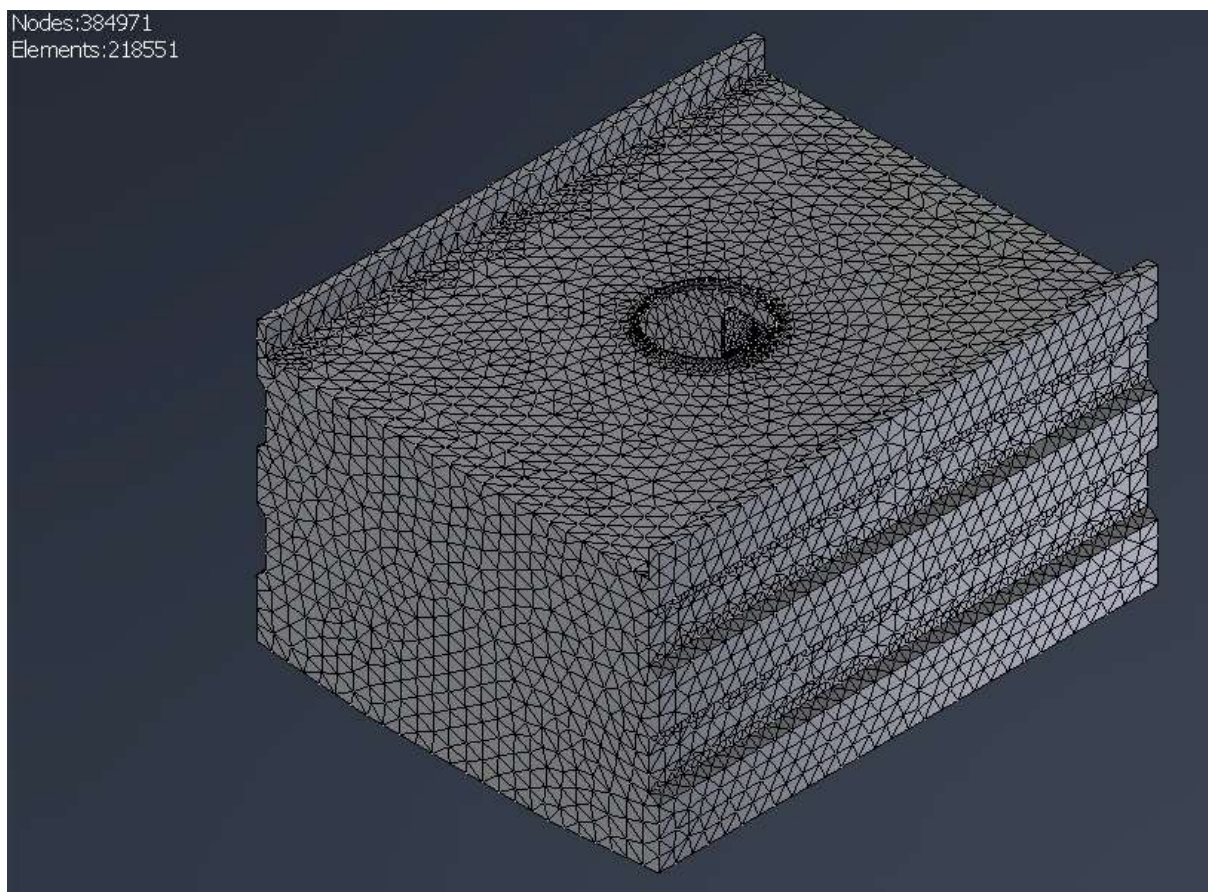
Hình 4.2. Bản vẽ tổng thể xi-téc chứa bọt cô đặc.



Hình 4.3. Mô hình xi-téc chứa bọt cô đặc thiết kế trên phần mềm Autodesk Inventor.

❖ Mô hình phần tử hữu hạn

Mô hình CAD sau khi hoàn thiện được nhập vào Assembly của phần mềm Autodesk Inventor. Các thông số kỹ thuật được thể hiện như Bảng 4.4, vật liệu sử dụng để phân tích xi-téc là GFRP (Chất dẻo được gia cố sợi thủy tinh), các thông số kỹ thuật về vật liệu được thể hiện ở Bảng 4.5.



Hình 4.4. Mô hình phần tử hữu hạn của xi-téc chứa bọt cô đặc.

Bảng 4.4. Thông số kỹ thuật mô hình FE của xi-téc chứa bọt cô đặc

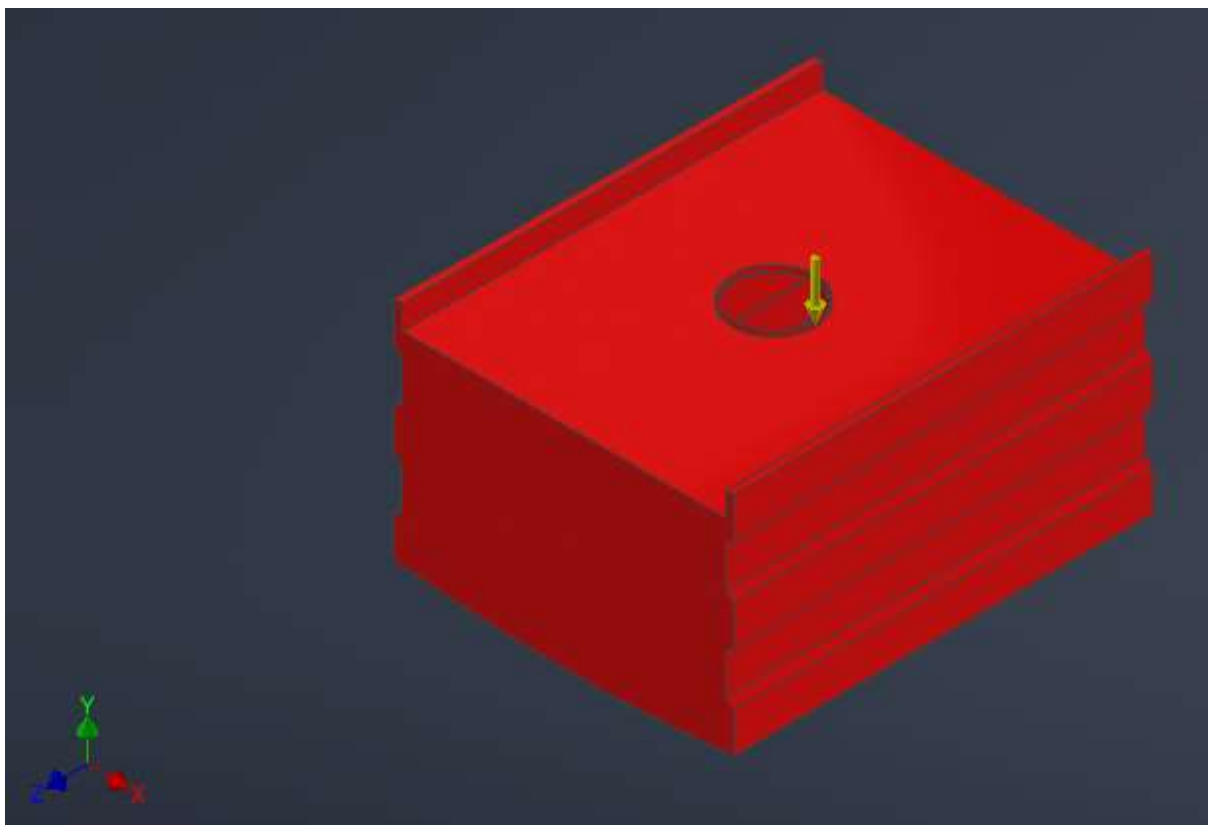
Domain	Elements	Nodes
Xi-téc chứa bọt cô đặc	218551	384971

Bảng 4.5. Thông số kỹ thuật vật liệu chế tạo xi-téc chứa bọt cô đặc

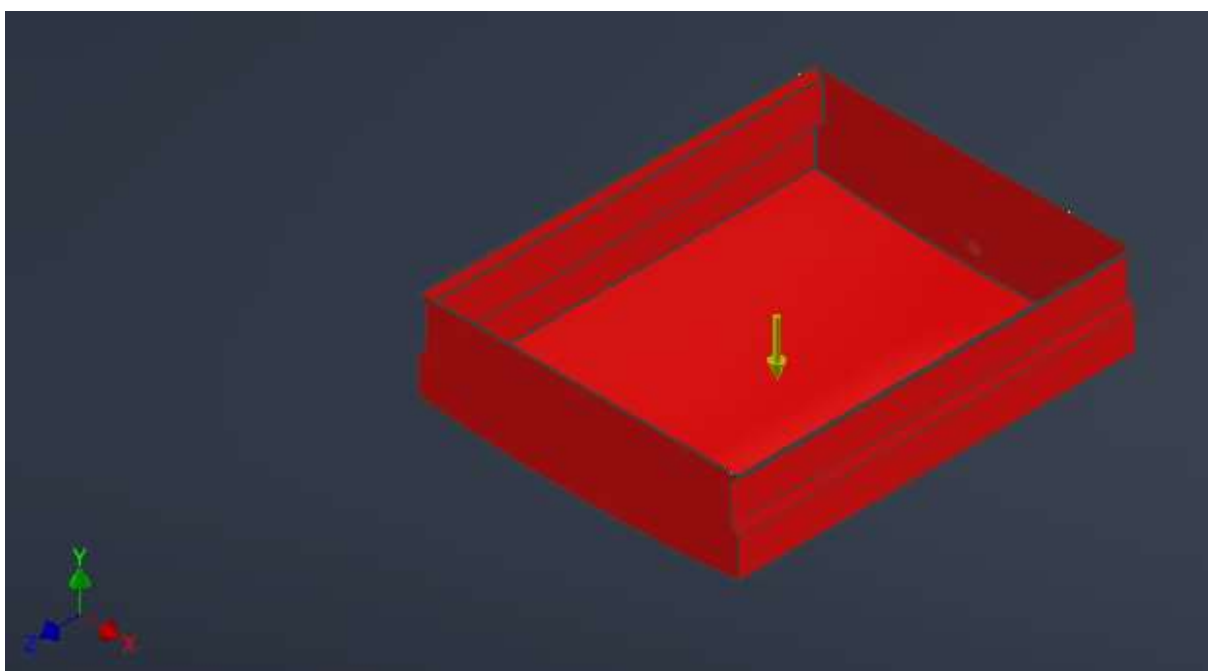
STT	Thông số vật liệu GFRP	Đơn vị	Giá trị
1	Khối lượng riêng, ρ	kg/m ³	1760
2	Mô-đun đàn hồi Young, E	GPa	7,45
3	Hệ số Poisson, μ	-	0,3
4	Giới hạn bền kéo, S_t	MPa	110
5	Giới hạn bền uốn, S_f	MPa	221
6	Giới hạn bền nén, S_c	MPa	228

❖ Điều kiện biên

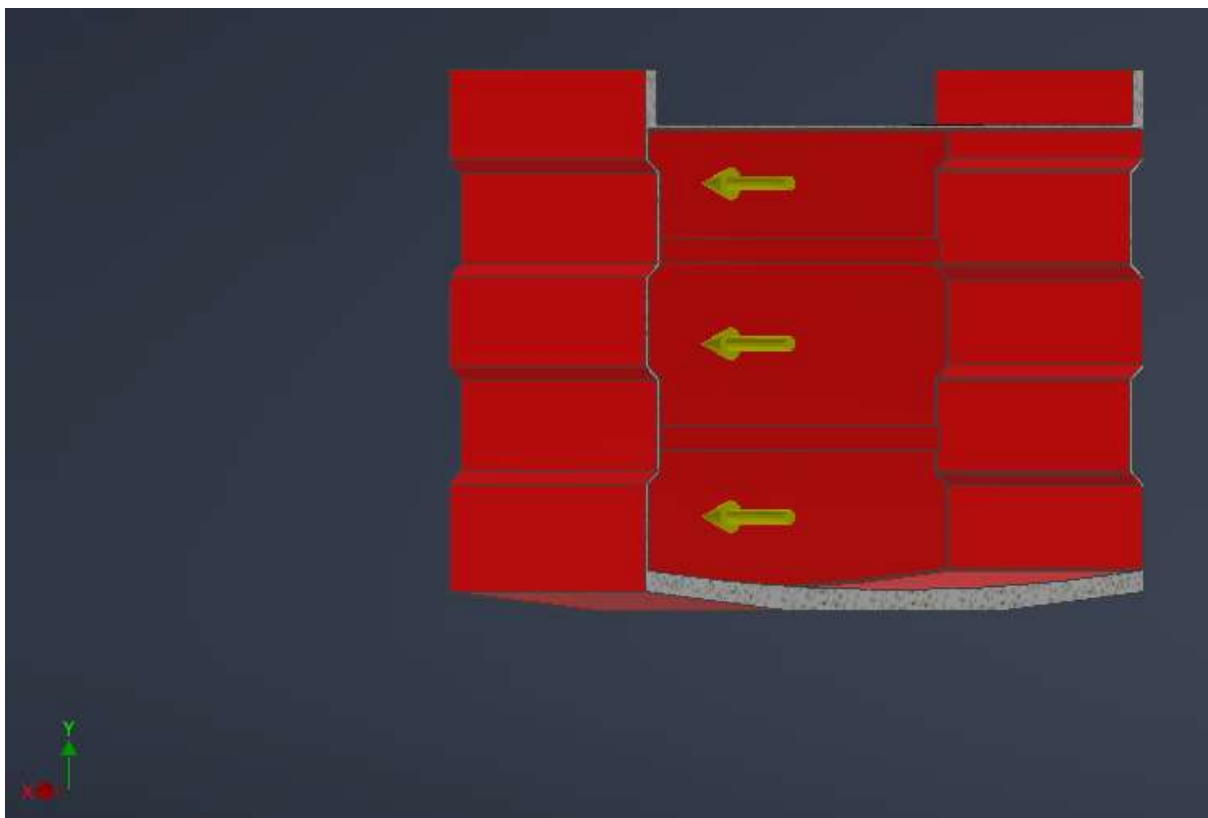
Điều kiện biên bài toán được thiết lập trong mô hình phần tử hữu hạn tương đương với các điều kiện phân tích về tải trọng tác dụng.



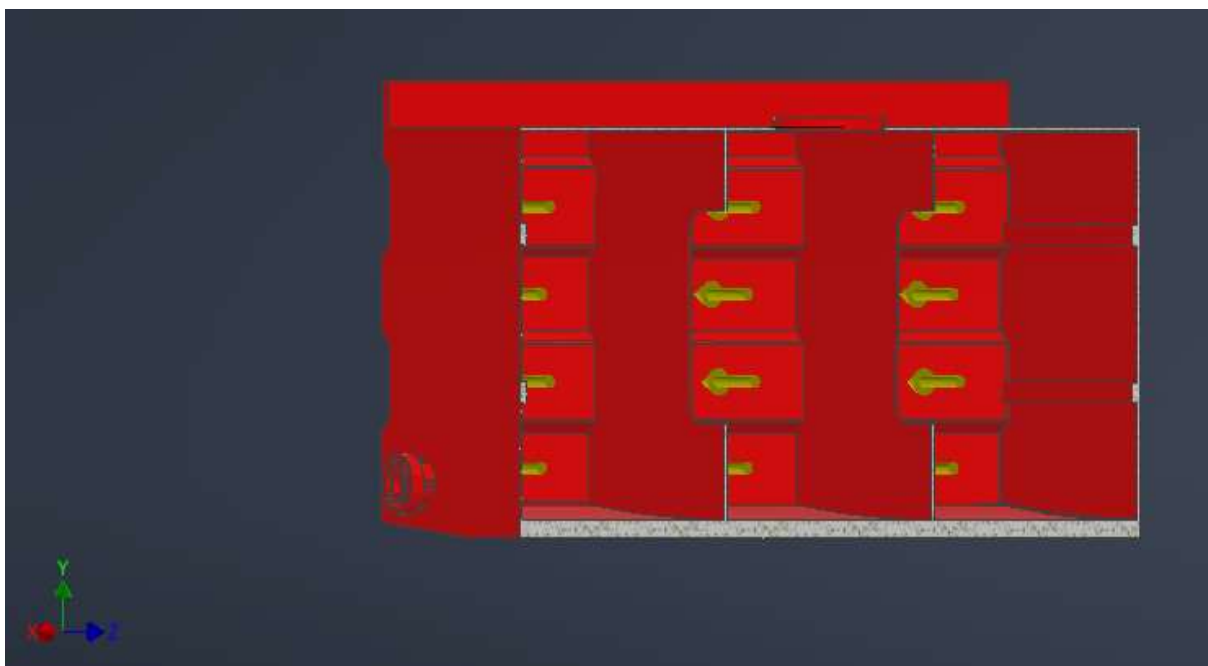
a. Điều kiện biên về trọng lực



b. Điều kiện biên về tải trọng bọt cô đặc lên đáy xi-téc



c. Điều kiện biên tại mặt trước xi-téc bọt khi xe phanh gấp



d. Điều kiện biên tại mặt bên xi-téc bọt khi xe chuyển hướng

Hình 4.5. Điều kiện biên thiết lập trong mô hình mô phỏng.

❖ Tải trọng tính toán và phân tích^[2]

Việc tính toán dựa trên khả năng chịu tải tối đa của xi-téc chứa bọt cô đặc. Trong bài toán mô phỏng, tải trọng của bọt cô đặc đưa vào là 6500 kg.

Khi chạy trên đường thẳng:

$$\text{Lực tác dụng lên mặt đáy: } P_j = \eta \cdot m_0 \cdot g = 2.6500 \cdot 9,81 = 127530 \text{ (N)}$$

Trong đó:

η - Hệ số an toàn, $\eta = 2$

m_0 - Trọng lượng bọt, $m_0 = 6500 \text{ kg}$

$$\text{Lực phân bố đều lên tấm: } q = \frac{P_j}{A} = \frac{127530}{5200000} = 0,024525 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

Trong đó:

A - Tiết diện đáy xi-téc, $A = 2600 \cdot 2000 = 5200000 \text{ (mm}^2\text{)}$

Khi xe phanh gấp:

$$\text{Lực tác dụng lớn nhất khi phanh gấp: } P_j = \eta \cdot m_0 \cdot J_p = 2.6500 \cdot 7 = 91000 \text{ (N)}$$

Trong đó:

η - Hệ số an toàn, $\eta = 2$

m_0 - Trọng lượng bọt, $m_0 = 6500 \text{ kg}$

J_p - Gia tốc phanh cực đại, $J_p = 7 \text{ m/s}^2$

$$\text{Lực phanh phân bố đều lên tấm: } q = \frac{P_j}{A} = \frac{91000}{2500000} \approx 0,0364 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

Trong đó:

A - Tiết diện mặt trước xi-téc, $A = 2000 \cdot 1250 = 2500000 \text{ (mm}^2\text{)}$

Khi xe chuyển hướng:

$$\text{Lực tác dụng lớn nhất khi quay vòng: } F_{LT} = \eta \cdot m_0 \cdot \frac{V_{qv}^2}{R_{\min qv}} \approx 47110 \text{ (N)}$$

Trong đó:

η - Hệ số an toàn, $\eta = 2$

m_0 - Trọng lượng bọt, $m_0 = 6500 \text{ kg}$

V_{qv} - Vận tốc cho phép khi quay vòng, $V_{qv} = 5,55 \text{ m/s}$

$R_{qv\min}$ - Bán kính quay vòng nhỏ nhất, $R_{qv\min} = 8,5 \text{ m}$

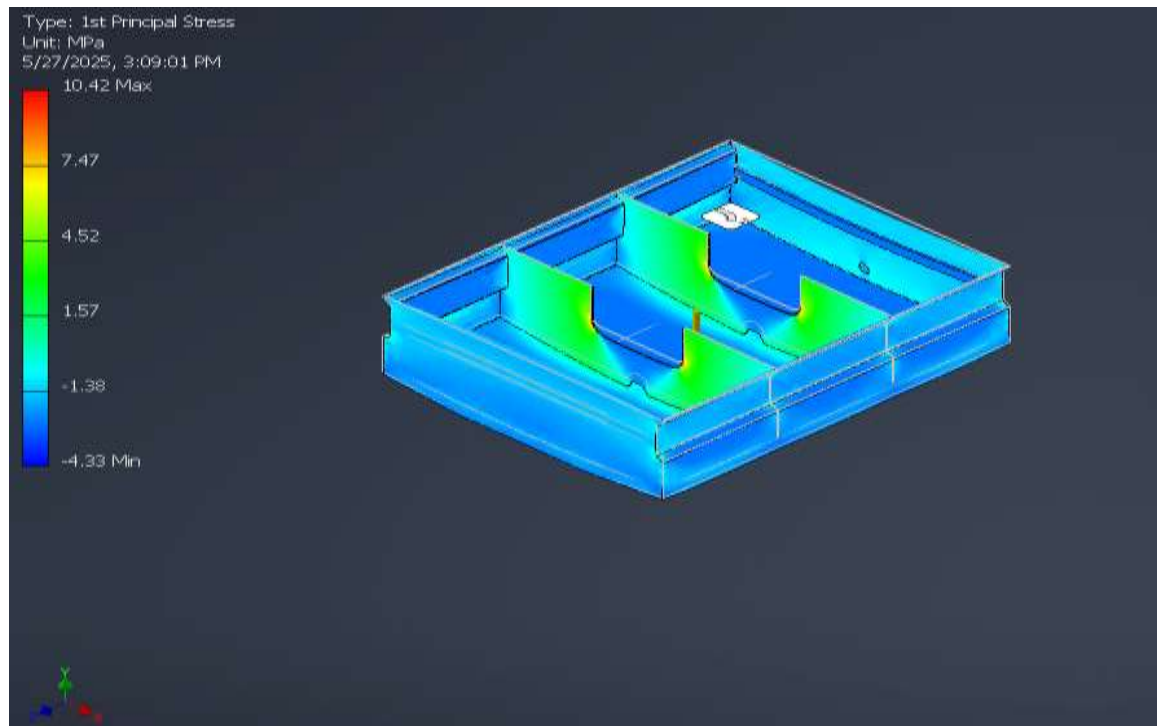
$$\text{Lực phân bố đều lên tấm: } q = \frac{F_{LT}}{A} = \frac{47110}{3250000} \approx 0,0145 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

Trong đó:

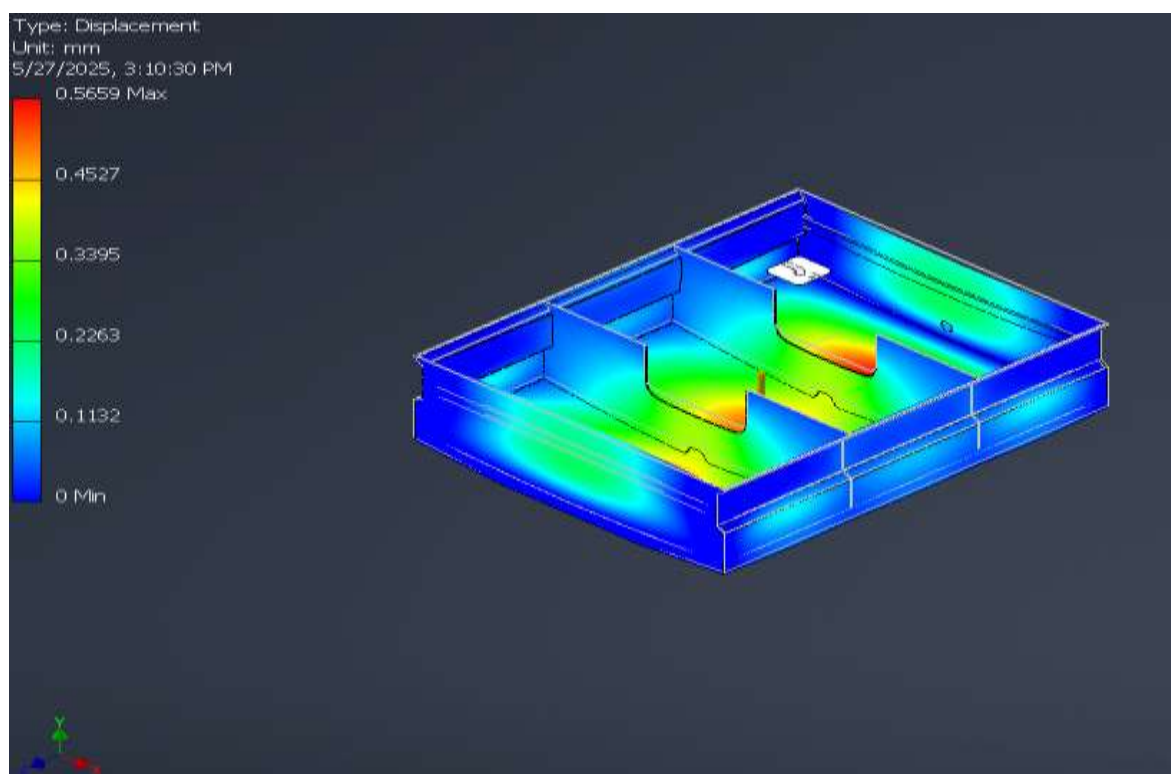
A - Tiết diện mặt bên xi-téc, $A = 2600 \cdot 1250 = 3250000 \text{ (mm}^2\text{)}$

❖ Kết quả phân tích

Khi xe chạy trên đường thẳng:



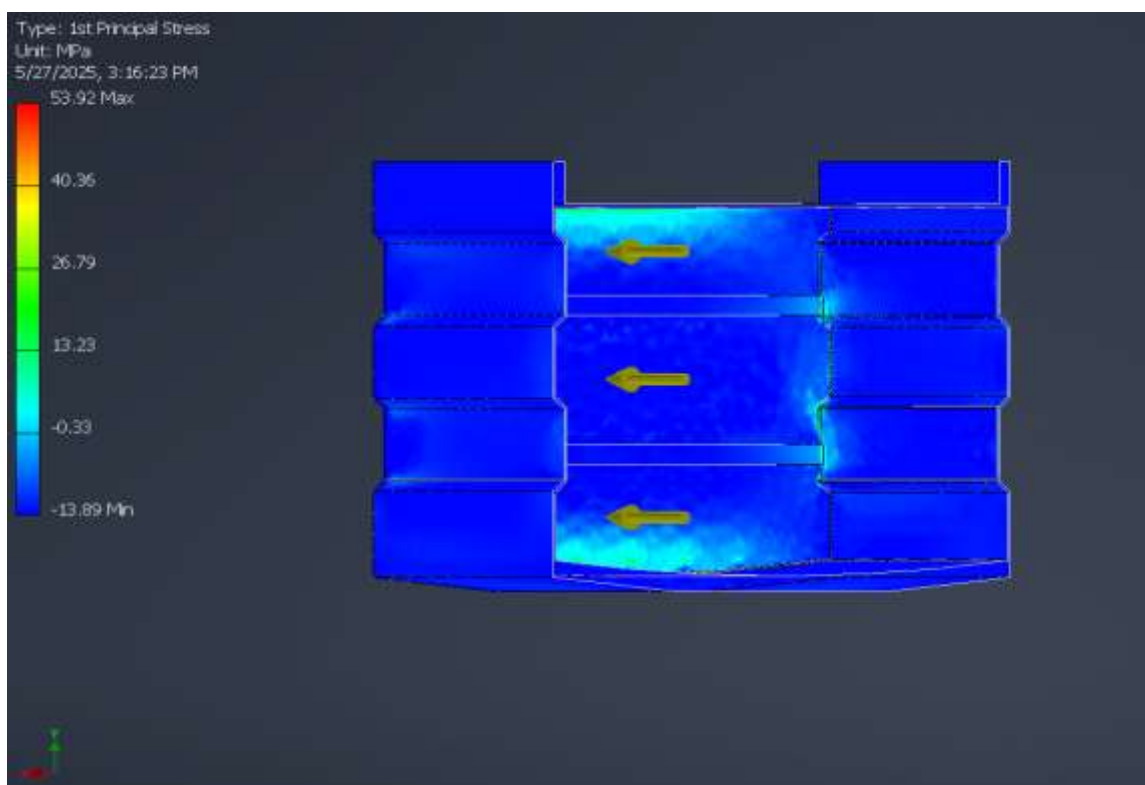
Giá trị ứng suất cực đại: $\sigma_1 = 10,42 \text{ MPa}$



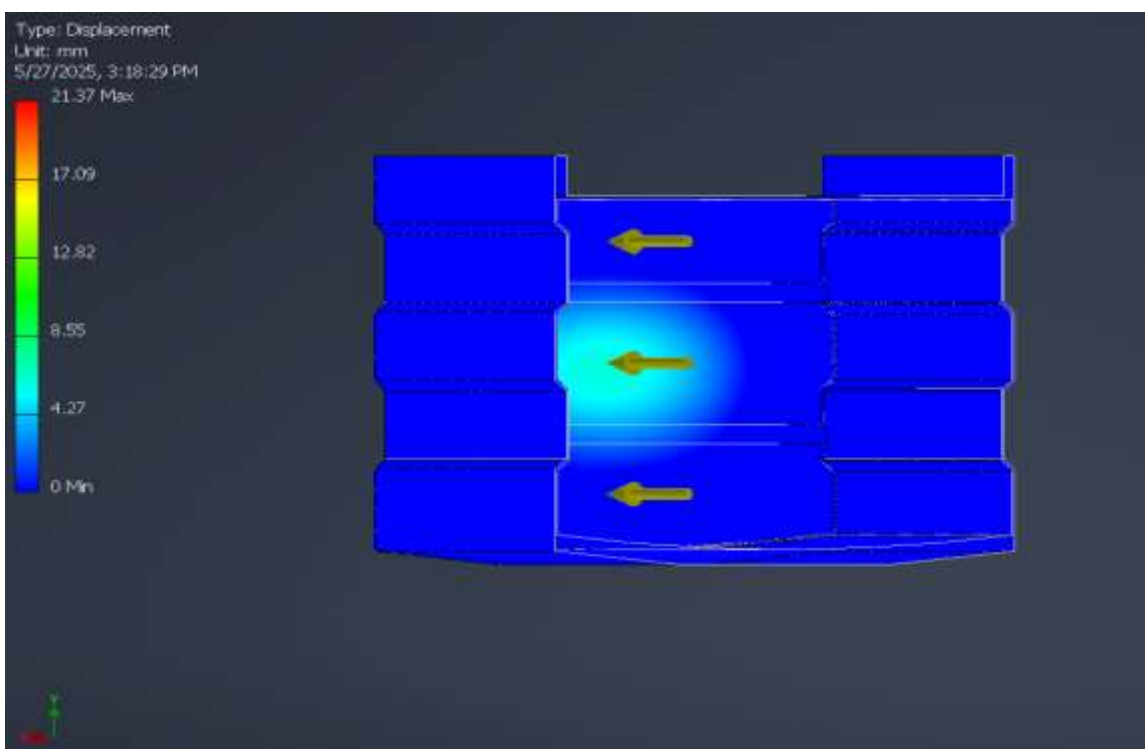
Giá trị chuyển vị lớn nhất: $\delta_1 = 0,5659 \text{ mm}$

Hình 4.6. Kết quả mô phỏng xi-téc chứa bọt cô đặc khi xe chạy trên đường thẳng.

Khi xe phanh gấp:



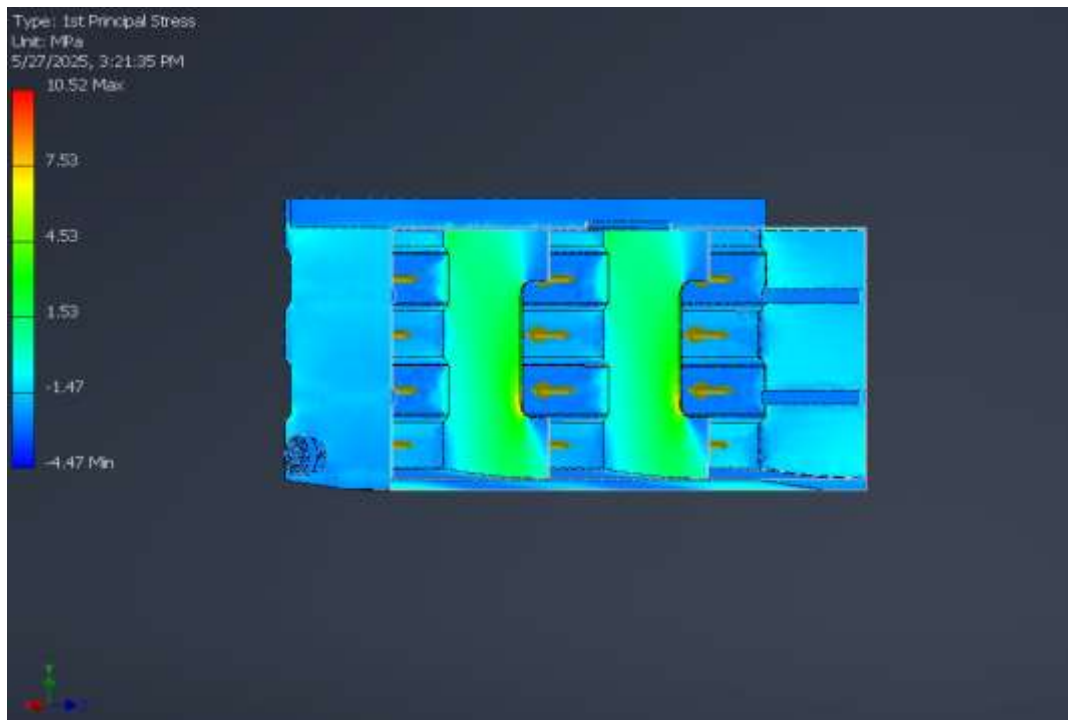
Giá trị ứng suất cực đại: $\sigma_2 = 53,92 \text{ MPa}$



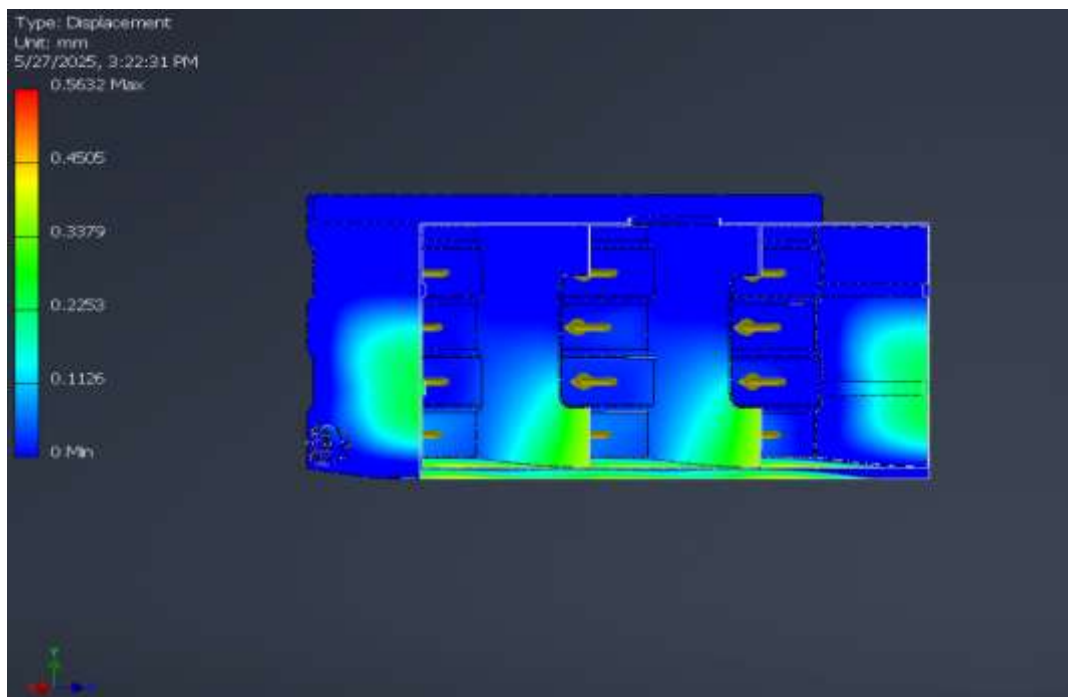
Giá trị chuyển vị lớn nhất: $\delta_2 = 21,37 \text{ mm}$

Hình 4.7. Kết quả mô phỏng xi-téc chứa bọt cô đặc khi xe phanh gấp

Khi xe chuyển hướng:



Giá trị ứng suất cực đại: $\sigma_3 = 10,52 \text{ MPa}$



Giá trị chuyển vị lớn nhất: $\delta_3 = 0,5632 \text{ mm}$

Hình 4.8. Kết quả mô phỏng xi-téc chứa bọt cô đặc khi xe chuyển hướng.

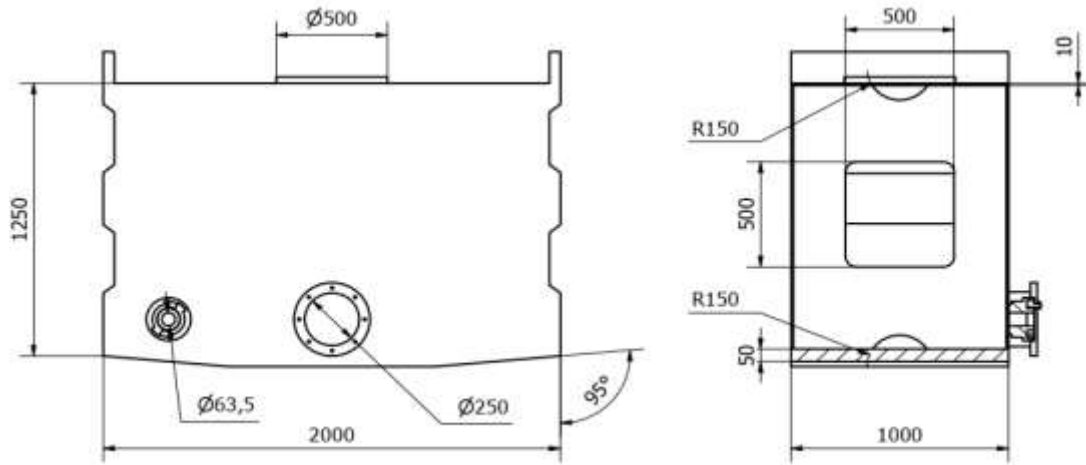
Kết luận: Các giá trị ứng suất và chuyển vị của xi-téc chứa bọt cô đặc trong 3 trường hợp xe chạy trên đường thẳng, khi xe phanh gấp và khi xe chuyển hướng đều nằm trong giới hạn cho phép ($S_c = 228 \text{ MPa}$). Do đó, kết cấu xi-téc đạt yêu cầu về kỹ thuật.

4.4.4. Thiết lập mô hình bài toán phân tích độ bền của vỏ xi-téc chứa nước

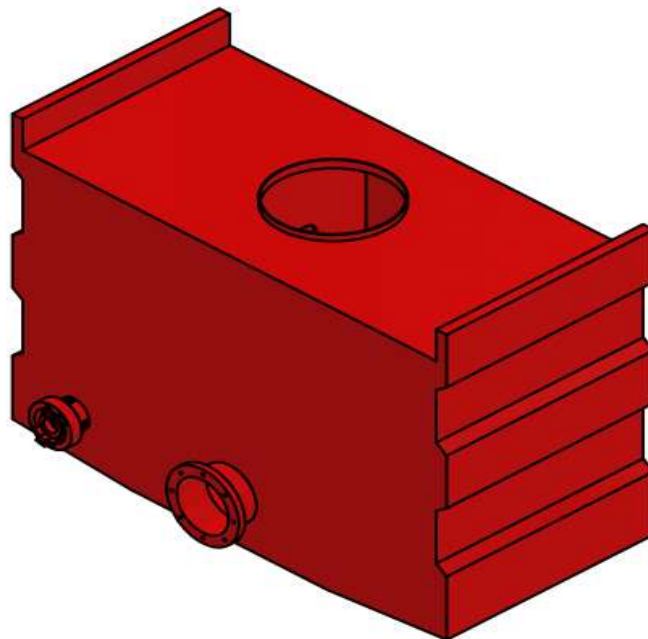
Bài toán kiểm tra bền vỏ xi-téc được ứng dụng phần mềm Autodesk Inventor.

❖ Mô hình CAD

Mô hình CAD của xi-téc được thiết kế trên phần mềm Autodesk Inventor. Sau khi thiết kế, mô hình có hình dáng và thông số được thể hiện trên Bảng 4.2, Hình 4.9, Hình 4.10.



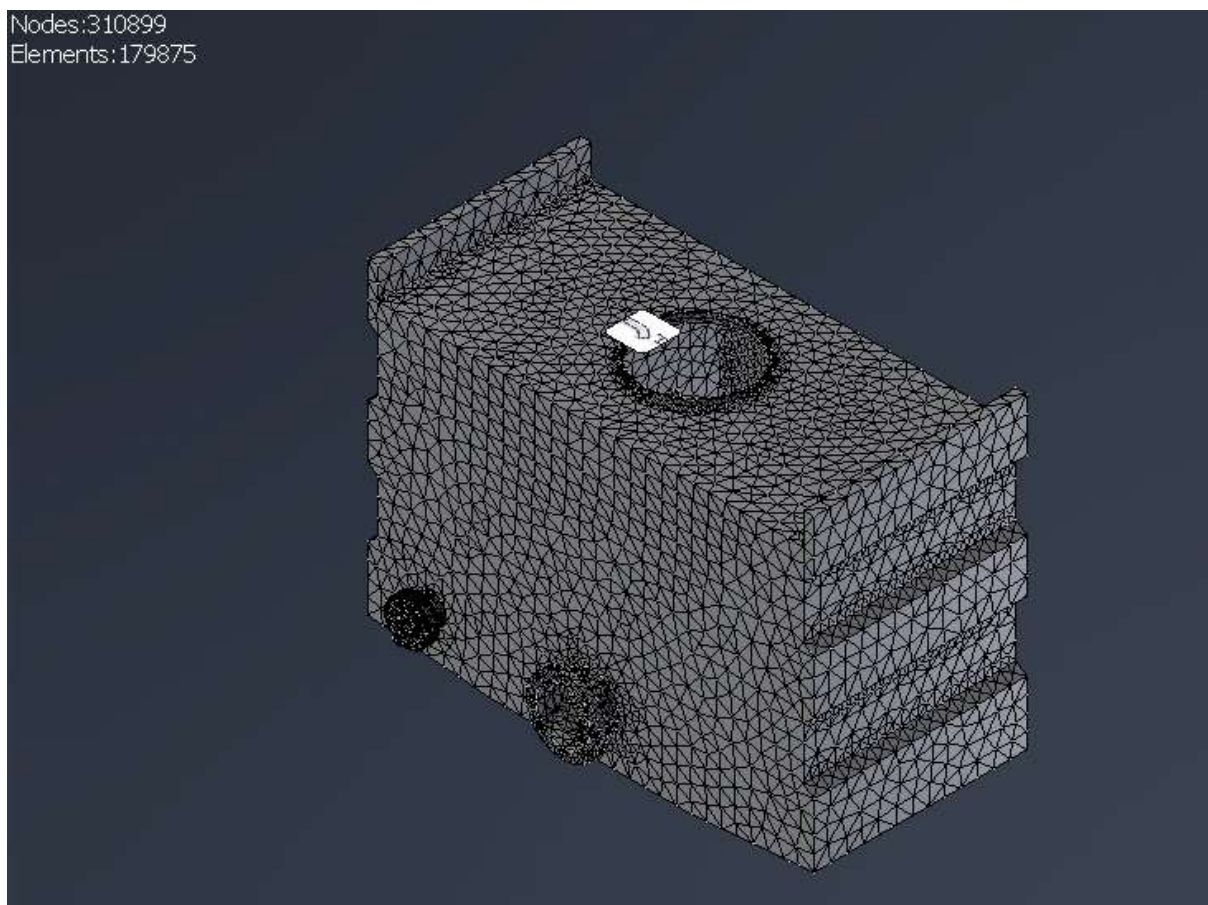
Hình 4.9. Bản vẽ tổng thể xi-téc chứa nước.



Hình 4.10. Mô hình xi-téc chứa nước thiết kế trên phần mềm Autodesk Inventor.

❖ Mô hình phần tử hữu hạn

Mô hình CAD sau khi hoàn thiện được nhập vào Assembly của phần mềm Autodesk Inventor. Các thông số kỹ thuật được thể hiện như Bảng 4.6, vật liệu sử dụng để phân tích xi-téc là GFRP (Chất dẻo được gia cố sợi thủy tinh), các thông số kỹ thuật về vật liệu được thể hiện ở Bảng 4.5.



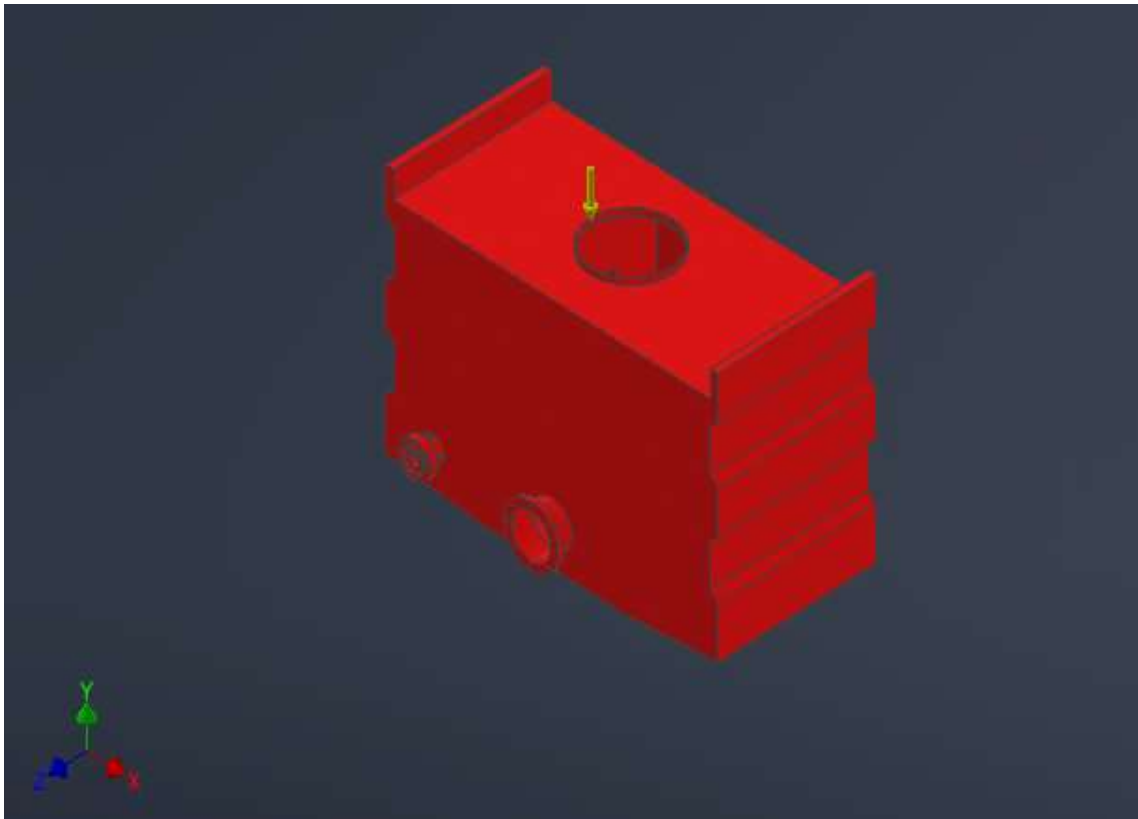
Hình 4.11. Mô hình phần tử hữu hạn của xi-téc chứa nước.

Bảng 4.6. Thông số kỹ thuật mô hình FE của xi-téc chứa bọt cô đặc

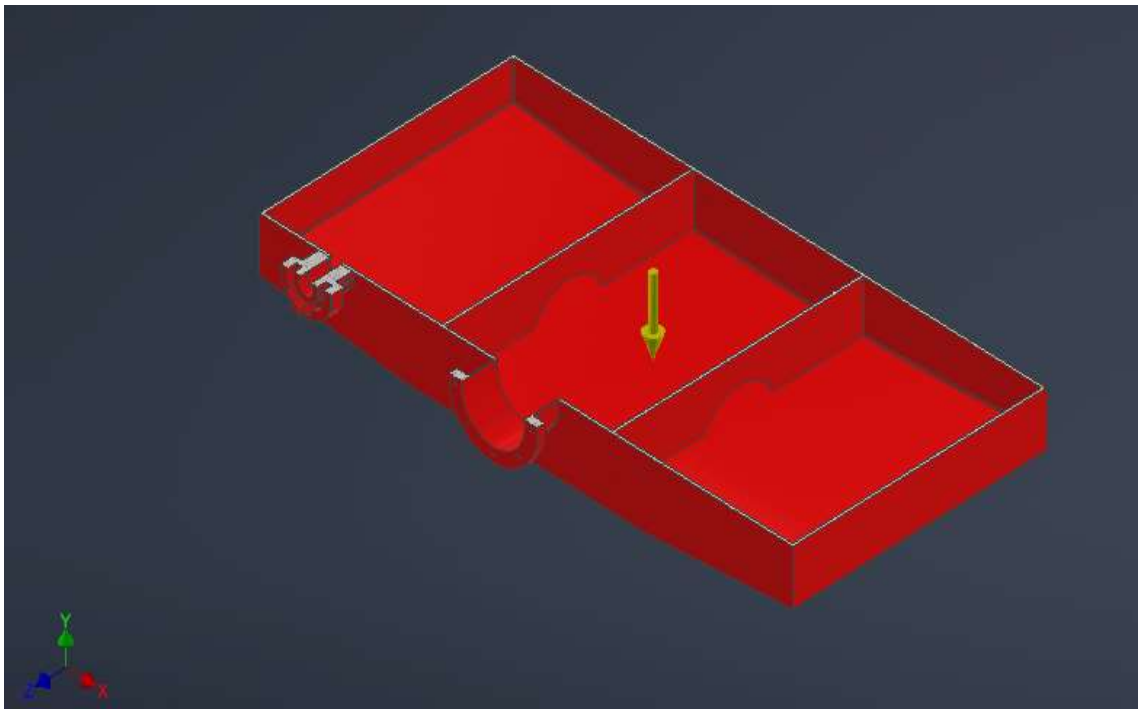
Domain	Elements	Nodes
Xi-téc chứa nước	179875	310899

❖ Điều kiện biên

Điều kiện biên bài toán được thiết lập trong mô hình phần tử hữu hạn tương đương với các điều kiện phân tích về tải trọng tác dụng.



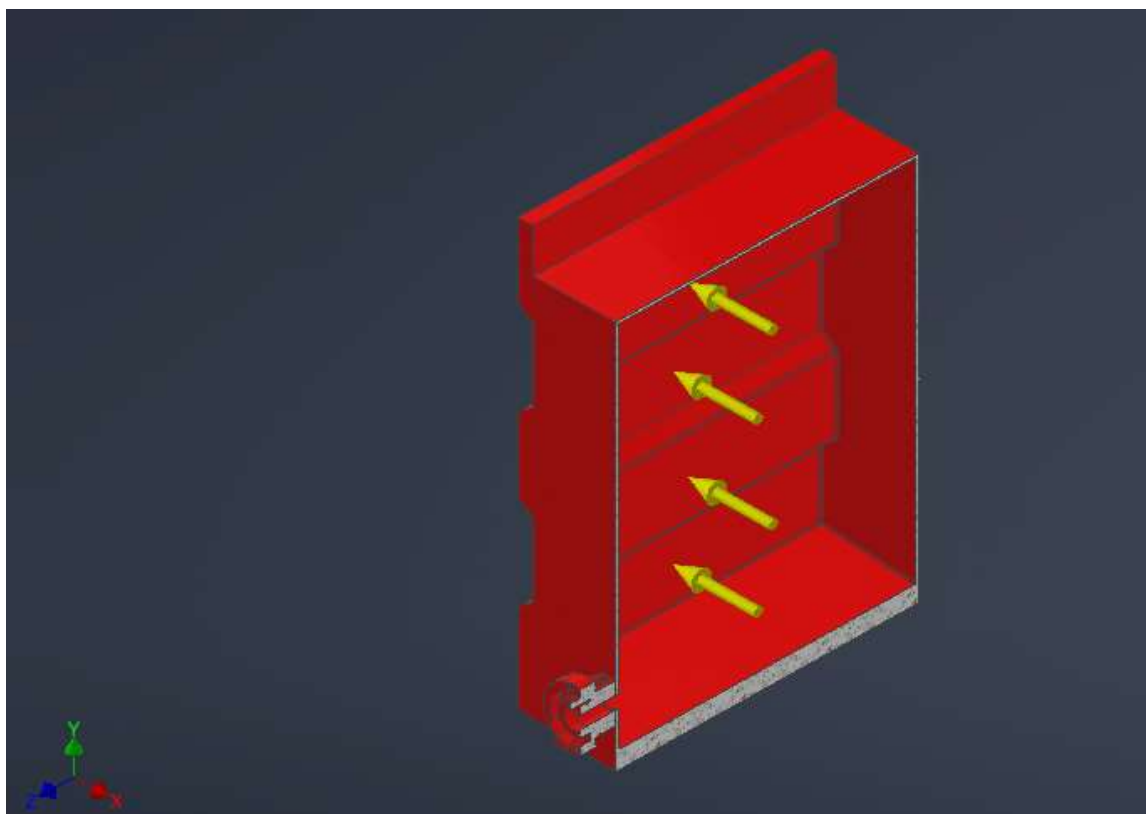
a. Điều kiện biên về trọng lực



b. Điều kiện biên về tải trọng nước lên đáy xi-téc



c. Điều kiện biên tại mặt trước xi-téc bọt khi xe phanh gấp



d. Điều kiện biên tại mặt bên xi-téc bọt khi xe chuyển hướng

Hình 4.12. Điều kiện biên thiết lập trong mô hình mô phỏng.

❖ **Tải trọng tính toán và phân tích^[2]**

Việc tính toán dựa trên khả năng chịu tải tối đa của xi-téc chứa nước. Trong bài toán mô phỏng, tải trọng của nước đưa vào là 2500 kg.

Khi chạy trên đường thẳng:

$$\text{Lực tác dụng lên mặt đáy: } P_j = \eta \cdot m_0 \cdot g = 2.2500 \cdot 9,81 = 49050 \text{ (N)}$$

Trong đó:

η - Hệ số an toàn, $\eta = 2$

m_0 - Trọng lượng bọt, $m_0 = 2500 \text{ kg}$

$$\text{Lực phân bố đều lên tấm: } q = \frac{P_j}{A} = \frac{49050}{2000000} = 0,024525 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

Trong đó:

A - Tiết diện đáy xi-téc, $A = 1000.2000 = 2000000 \text{ (mm}^2\text{)}$

Khi xe phanh gấp:

$$\text{Lực tác dụng lớn nhất khi phanh gấp: } P_j = \eta \cdot m_0 \cdot J_p = 2.2500 \cdot 7 = 35000 \text{ (N)}$$

Trong đó:

η - Hệ số an toàn, $\eta = 2$

m_0 - Trọng lượng bọt, $m_0 = 2500 \text{ kg}$

J_p - Gia tốc phanh cực đại, $J_p = 7 \text{ m/s}^2$

$$\text{Lực phanh phân bố đều lên tấm: } q = \frac{P_j}{A} = \frac{35000}{2500000} = 0,014 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

Trong đó:

A - Tiết diện mặt trước xi-téc, $A = 2000.1250 = 2500000 \text{ (mm}^2\text{)}$

Khi xe chuyển hướng:

$$\text{Lực tác dụng lớn nhất khi quay vòng: } F_{LT} = \eta \cdot m_0 \cdot \frac{V_{qv}^2}{R_{\min qv}} \approx 18120 \text{ (N)}$$

Trong đó:

η - Hệ số an toàn, $\eta = 2$

m_0 - Trọng lượng bọt, $m_0 = 2500 \text{ kg}$

V_{qv} - Vận tốc cho phép khi quay vòng, $V_{qv} = 5,55 \text{ m/s}$

$R_{qv\min}$ - Bán kính quay vòng nhỏ nhất, $R_{qv\min} = 8,5 \text{ m}$

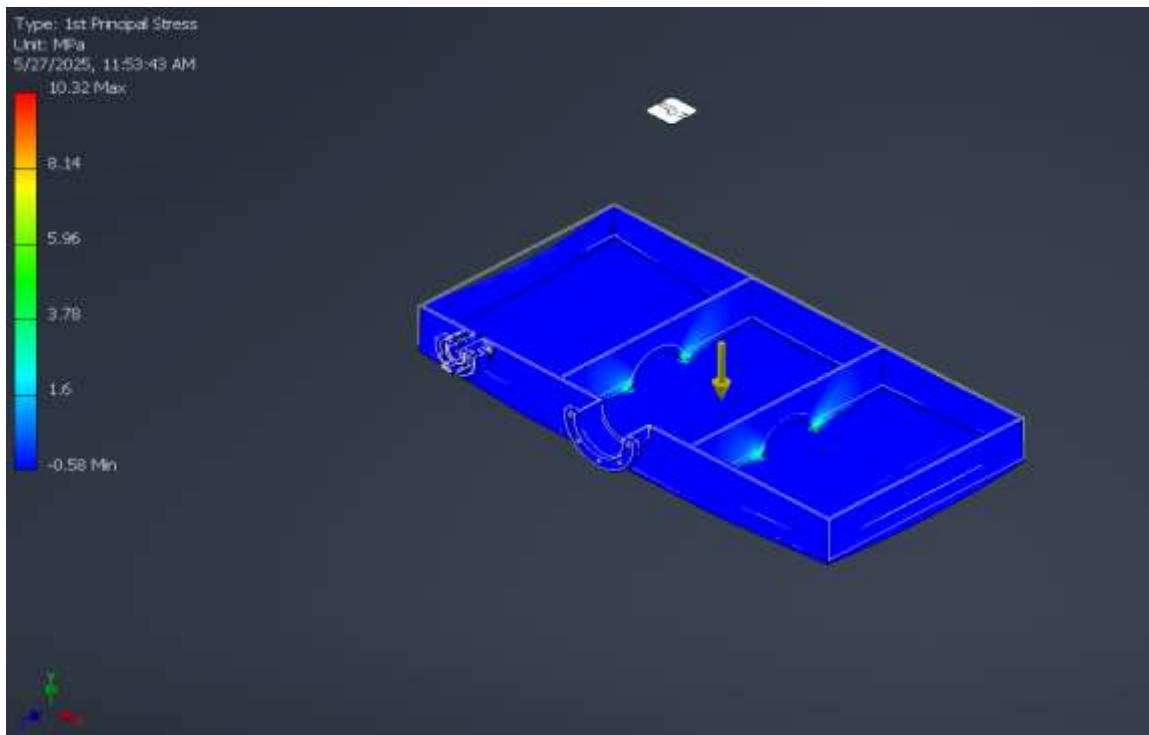
$$\text{Lực phân bố đều lên tấm: } q = \frac{F_{LT}}{A} = \frac{18120}{1250000} \approx 0,0145 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

Trong đó:

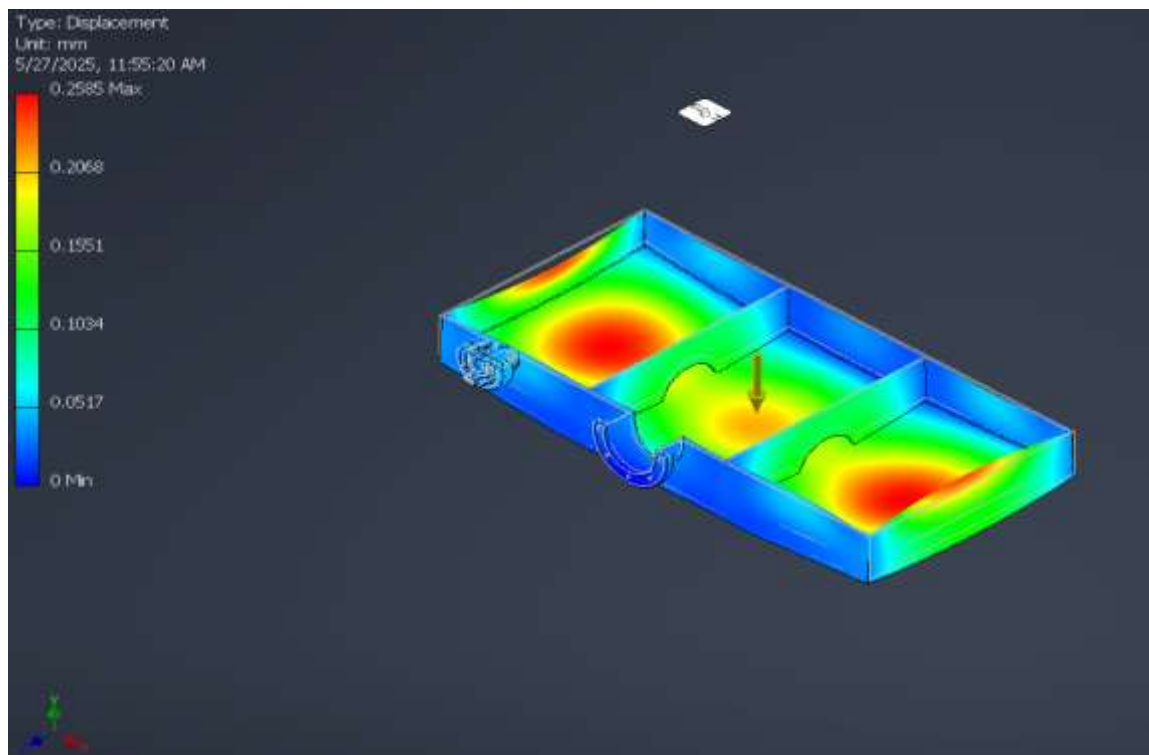
A - Tiết diện mặt bên xi-téc, $A = 1000.1250 = 1250000 \text{ (mm}^2\text{)}$

❖ Kết quả phân tích

Khi xe chạy trên đường thẳng:



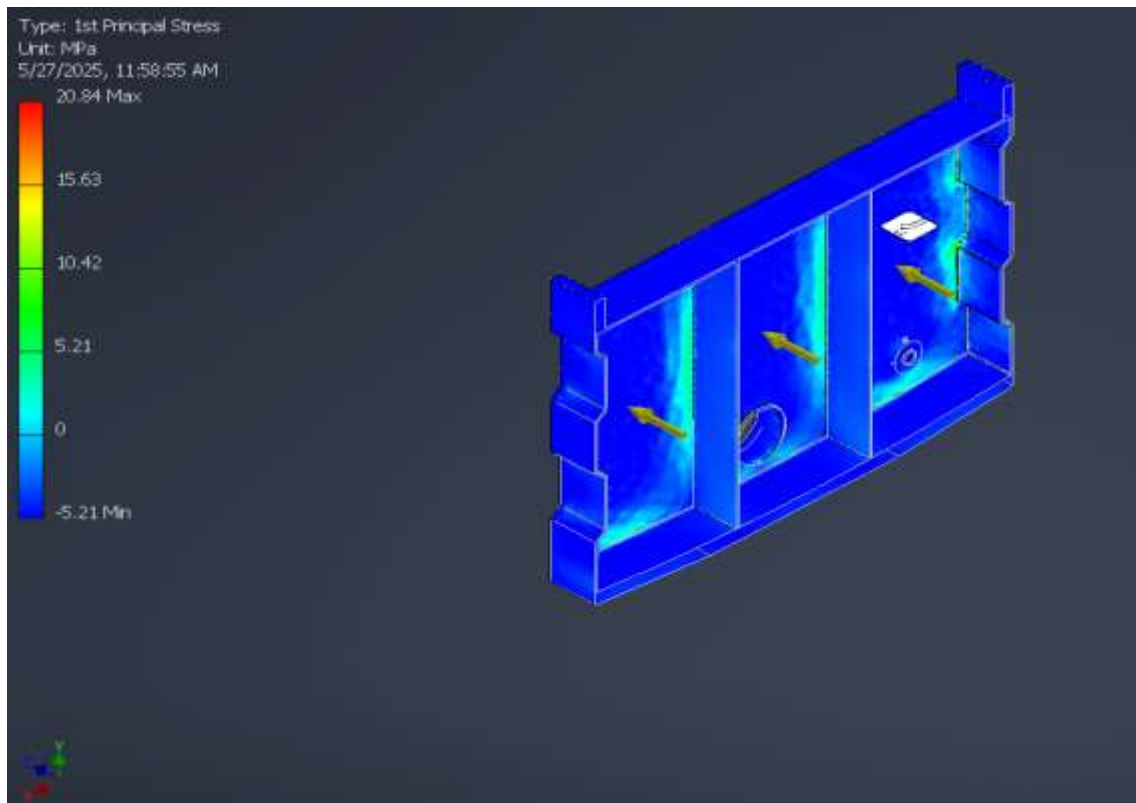
Giá trị ứng suất cực đại: $\sigma_1 = 10,32 \text{ MPa}$



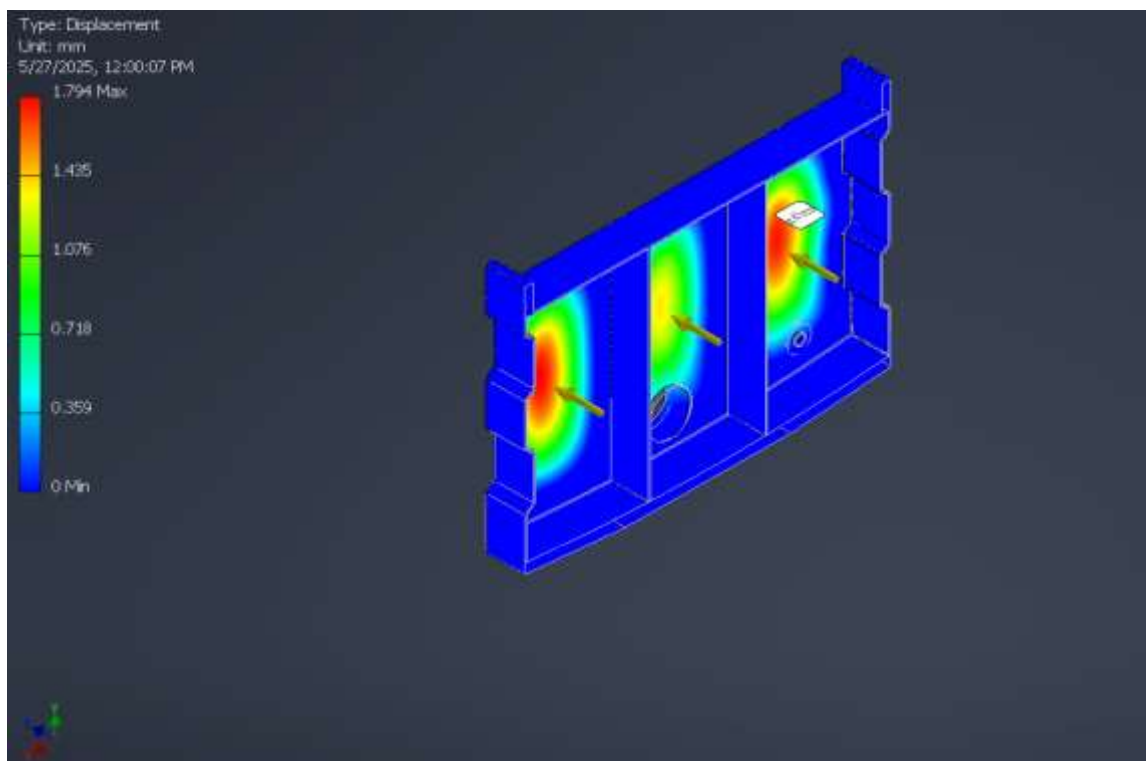
Giá trị chuyển vị lớn nhất: $\delta_1 = 0,2585 \text{ mm}$

Hình 4.13. Kết quả mô phỏng xi-téc chứa bọt cô đặc khi xe chạy trên đường thẳng.

Khi xe phanh gấp:



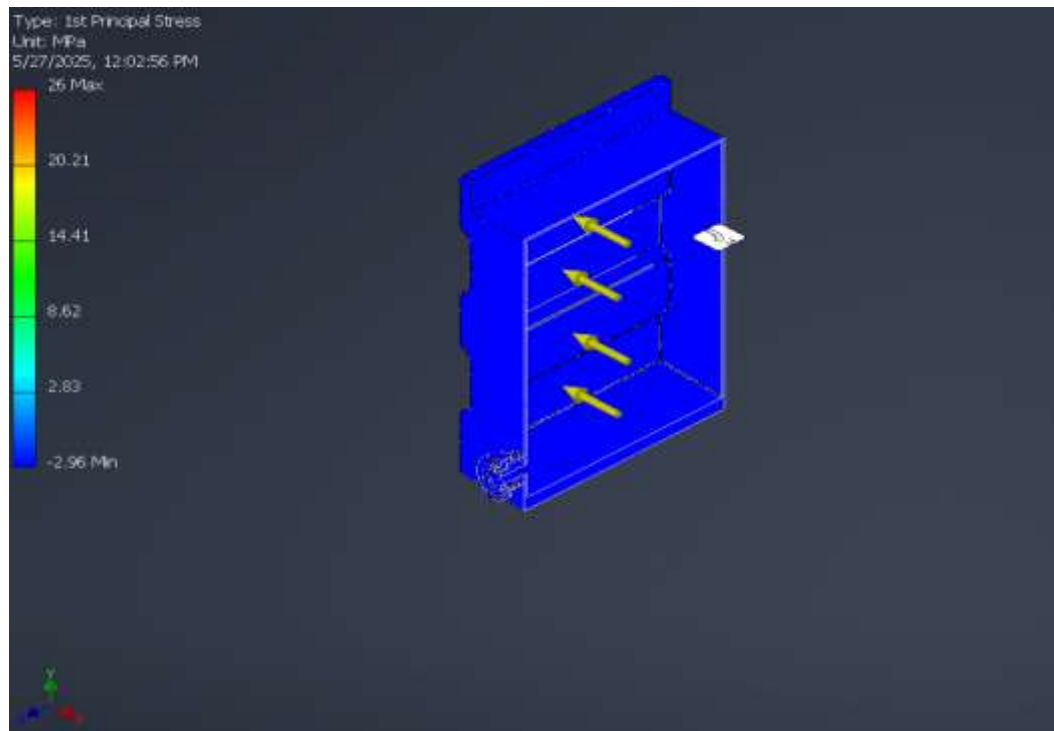
Giá trị ứng suất cực đại: $\sigma_2 = 20,84 \text{ MPa}$



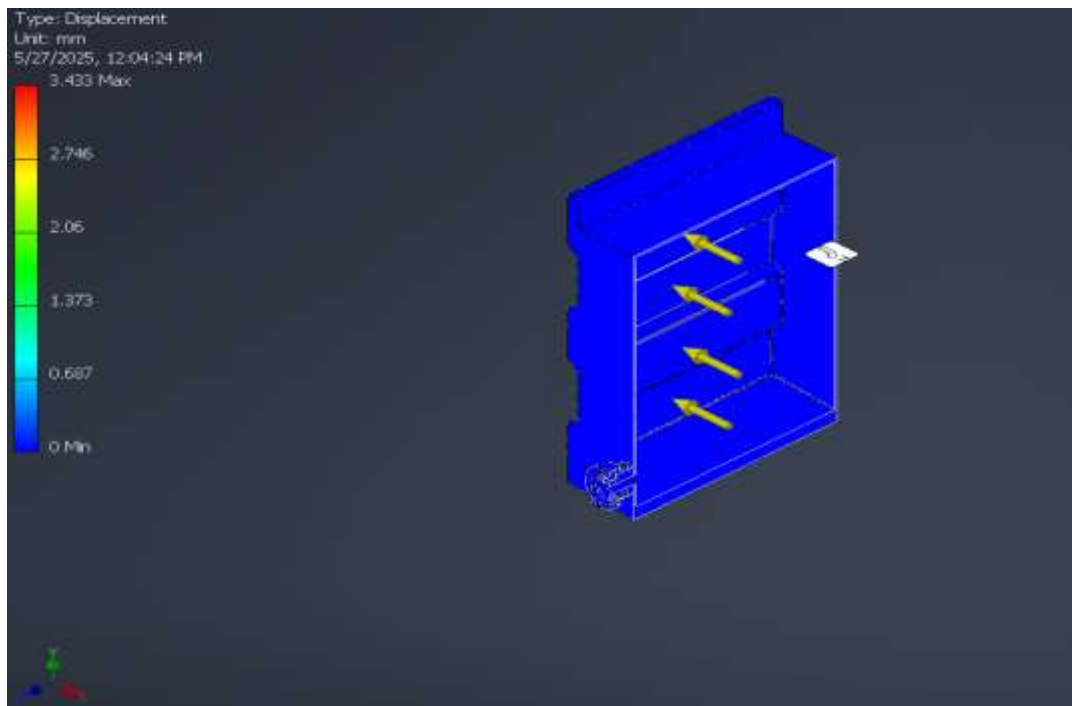
Giá trị chuyển vị lớn nhất: $\delta_2 = 1,794 \text{ mm}$

Hình 4.14. Kết quả mô phỏng xi-téc chứa bọt cô đặc khi xe phanh gấp.

Khi xe chuyển hướng:



Giá trị ứng suất cực đại: $\sigma_3 = 26 \text{ MPa}$



Giá trị chuyển vị lớn nhất: $\delta_3 = 3,433 \text{ mm}$

Hình 4.15. Kết quả mô phỏng xi-téc chứa bọt cô đặc khi xe chuyển hướng.

Kết luận: Các giá trị ứng suất và chuyển vị của xi-téc chứa nước trong 3 trường hợp xe chạy trên đường thẳng, khi xe phanh gấp và khi xe chuyển hướng đều nằm trong giới hạn cho phép ($S_c = 228 \text{ MPa}$). Do đó, kết cấu xi-téc đạt yêu cầu về kỹ thuật.

Chương 5: THIẾT KẾ BƠM CHỮA CHÁY

5.1. Nhiệm vụ, kết cấu, yêu cầu kỹ thuật của bơm ly tâm

5.1.1. Nhiệm vụ

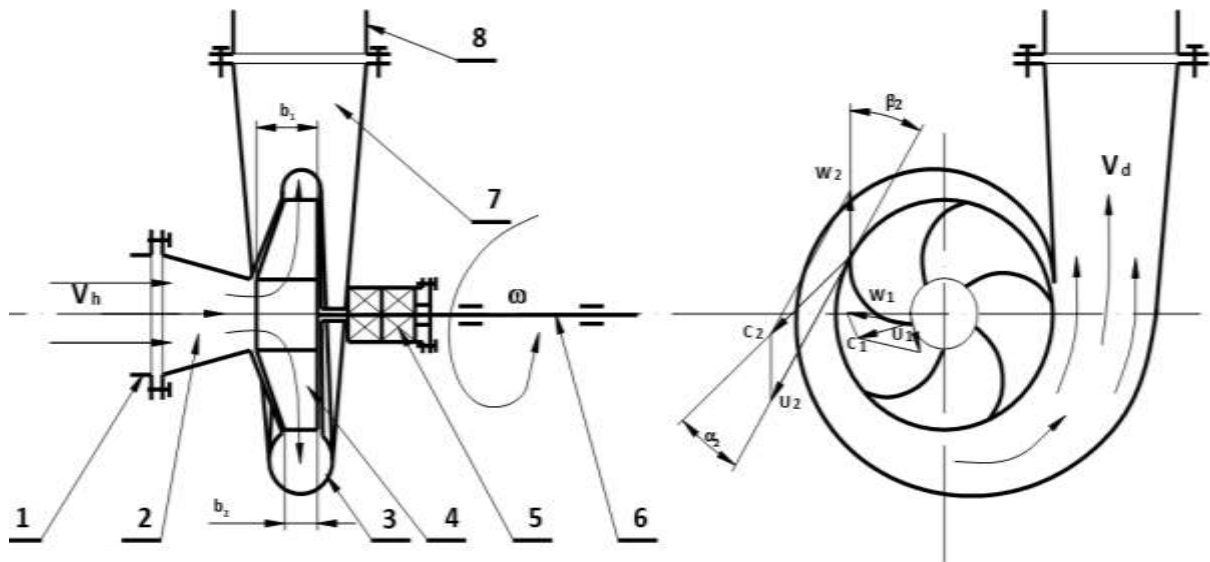
Bơm ly tâm trong xe chữa cháy là một bộ phận quan trọng, có nhiệm vụ hút nước từ nguồn cấp (hồ, bể, sông, hoặc bồn chứa trên xe) và tạo áp lực cao để phun nước mạnh ra vòi chữa cháy. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động của bơm ly tâm giúp nó đảm bảo cung cấp nước liên tục với lưu lượng lớn, phục vụ hiệu quả công tác dập lửa.

5.1.2. Kết cấu

Bơm ly tâm là bơm dạng cánh truyền năng lượng cho chất lỏng dưới dạng động năng. Về kết cấu bơm có các bộ phận chính sau:

- Bánh công tác
- Vỏ bơm
- Trục bơm
- Ổ đỡ
- Bộ phận dẫn dòng vào bánh công tác
- Bộ phận dẫn dòng ra khỏi bánh công tác (buồng xoắn)
- Ống hút và ống đẩy.

Trong đó bánh công tác đóng vai trò là bộ phận quan trọng nhất, thực hiện việc trao đổi năng lượng giữa máy và dòng chất lỏng chuyển động qua máy.



Hình 5.1. Sơ đồ cấu tạo bơm ly tâm một cấp một cửa vào

1-Ổng hút;	2-Phân dẫn dòng vào;
3-Buồng xoắn (bộ phận dẫn dòng ra);	4-Bánh công tác;
5-Phốt làm kín;	6-Trục bơm;
7-Phân dẫn dòng ra;	8-Ổng đẩy;

a. Bánh công tác

Kết cấu có 3 dạng chính là cánh mở hoàn toàn, mở một phần và cánh kín. Bánh công tác được lắp trên trục của bơm cùng với các chi tiết khác cố định với trục tạo nên phần quay của bơm gọi là rôto. Bánh công tác được đúc bằng gang hoặc thép theo phương pháp đúc chính xác. Các bề mặt cánh dẫn và đĩa bánh công tác yêu cầu có độ nhẵn tương đối cao (tam giác 3 đến 6) để giảm tổn thất. Bánh công tác và rôto của bơm đều phải được cân bằng tĩnh và cân bằng động để khi làm việc bánh công tác không cọ xát vào thân bơm.



Hình 5.2. Một số hình dạng bánh công tác của bơm ly tâm.

b. Vỏ bơm

Vỏ bơm được chế tạo kiểu ghép ngang gồm nhiều phần ghép. Thân bơm đúc bằng gang. Giữa các bề mặt ghép có đệm lót kín nhằm ngăn chặn sự rò rỉ của chất lỏng. Bộ phận lót kín thứ nhất gồm hai vành lót kín gắn trên bánh công tác và thân bơm để ngăn chất lỏng từ lõi ra của bánh trở về lõi vào. Khe hở cho phép giữa hai vành lót rất nhỏ (0,1 - 0,5 mm) để bánh công tác không cọ vào thân bơm khi làm việc. Bộ phận lót kín thứ hai ở giữa thân bơm và trục ngăn ngừa không cho chất lỏng trong bơm chảy ra ngoài và ngược lại không cho không khí ở ngoài lọt vào bơm. Đệm lót kín không bị cháy do cọ xát với trục và không khí ở ngoài không lọt vào bơm, dẫn chất lỏng từ buồng xoắn ốc (buồng đẩy) đến đệm lót để làm ướt và kín đệm lót. Điều chỉnh nhỏ giọt 20-60 giọt/phút.



Hình 5.3. Vỏ bơm.

c. Trục bơm

Trục bơm là chi tiết quan trọng có nhiệm vụ truyền mômen xoắn của động cơ lai tới cánh bơm làm cho cánh bơm quay. Trục bơm thường là trục bậc để dễ dàng lắp ráp các thiết bị trên trục.



Hình 5.4. Trục bơm ly tâm.

5.1.3. Yêu cầu kỹ thuật

a. Thân bơm

- Phải đảm bảo độ cứng vững, chịu được ăn mòn, va đập.
- Giữa thân bơm và bánh công tác có vành làm kín ngăn chất lỏng chảy từ cửa đẩy về cửa hút. Khe hở cho phép $0,1 \div 0,5$ mm. Có thể thay đổi tùy theo trạng thái kỹ thuật của bơm. Các bộ phận đúc (cánh bơm, nắp bơm, vỏ bơm) được làm bằng hợp kim kim loại nhẹ chịu nước biển.
- Bề mặt lắp ghép giữa nắp và vỏ bơm được gia công chính xác, có đặt đệm làm kín tránh rò rỉ không khí vào bơm.

b. Ổ đỡ

Ổ đỡ trục phải được lắp ghép cẩn thận. Khi ổ đỡ mòn thì điều chỉnh khe hở trong ổ, để đảm bảo rôto quay không bị đảo và các vành lót kín không bị cọ xát. Chú ý đổ dầu đầy đủ, thay dầu thường xuyên và có nhiệt kế theo dõi nhiệt độ dầu.

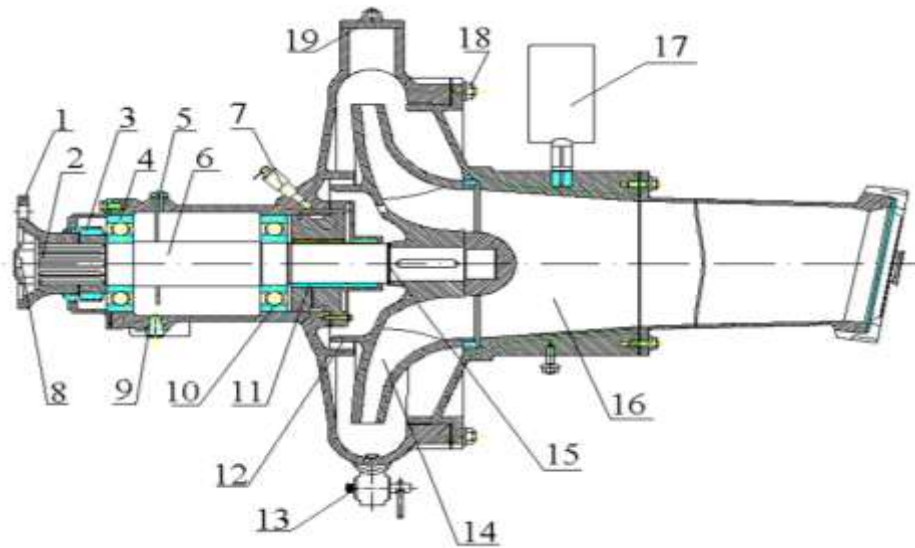
c. Bánh công tác

- Đủ bền, chịu được ăn mòn.
- Lắp ghép với trục bằng mối ghép then.

d. Trục bơm

- Không cong vênh.
- Đủ điều kiện bền.
- Các bích nối đảm bảo độ đồng tâm.
- Trục đỡ trên các ổ bi và có các trét làm kín.
- Trục bơm có nhiều ổ trục.

5.2. Nguyên lý làm việc của bơm ly tâm

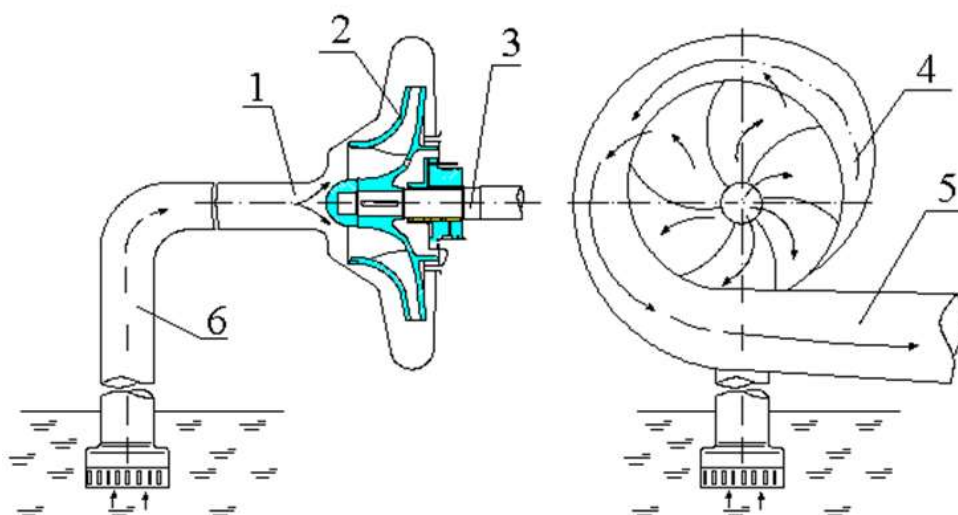


Hình 5.5. Sơ đồ cấu tạo bơm ly tâm

1-Mặt bích; 2-Then hoa; 3-Bảo tốc độ; 4-Ổ lăn; 5-Que thăm dầu; 6-Trục bơm; 7-Vú mỡ; 8-Đai ốc; 9-Nút xả dầu; 10-Ổ lăn; 11-Cốc đệm; 12-Bộ đệm làm kín; 13-Tia kiểm tra; 14-Cánh bơm; 15-Đệm điều chỉnh; 16-Cổ hút; 17-Đồng hồ báo chân không; 18-Gui dong; 19-Nắp.

Trên sơ đồ kết cấu bơm ở Hình 5.5: Vỏ đúc bằng gang, trên vỏ có gắn hai ổ bi lăn (4) và (10) để đỡ trục bơm (6). Đầu trục bơm có lắp mặt bích (1) thông qua then hoa (2), để cố định mặt bích, dùng đai ốc (8). Vú mỡ (7) cung cấp mỡ bôi trơn để bôi trơn đệm cao su làm kín (11). Cánh dẫn hướng (14) đúc bằng gang và có độ nhẵn cao, lắp với trục bơm bằng then. Tia phun (13) nhằm để kiểm tra sự hoạt động của bơm khi bơm làm việc. Trên đầu cổ hút (16) có gắn đồng hồ báo áp suất chân không (17). Ở phía dưới khoang chứa dầu bôi trơn có nút xả thay dầu và ở phía trên có que thăm dầu (5).

Dưới đây là sơ đồ thể hiện đường nước vào và nước ra trên bơm khi bơm hoạt động:



Hình 5.6. Nguyên lý làm việc của bơm ly tâm FNP 10-10000-1H trên xe chữa cháy

1-Bộ phận dẫn hướng vào; 2-Cánh bơm; 3-Trục bơm;
4-Bộ phận dẫn hướng ra; 5-Ống đẩy; 6-Ống hút.

Trước khi bơm làm việc cần làm cho thân bơm (trong đó có bánh công tác) và ống hút điền đầy chất lỏng –thường gọi là mồi bơm.

Khi bơm làm việc, bánh công tác quay, các phần tử chất lỏng ở trong bánh công tác dưới ảnh hưởng của lực đẩy ly tâm bị dồn từ trong ra ngoài, chuyển động theo các máng dẫn của cánh dẫn và đi vào ống đẩy với áp suất cao hơn, đó là quá trình đẩy của bơm.

Đồng thời ở lõi vào của bánh công tác tạo nên một vùng chân không và dưới tác dụng của áp suất trong bể chứa lớn hơn áp suất ở lõi vào của bơm, chất lỏng ở bể hút liên tục bị đẩy vào bơm theo ống hút. Đó là quá trình hút của bơm. Quá trình hút và quá trình đẩy của bơm là quá trình liên tục, tạo nên dòng chảy liên tục qua bơm.

Bộ phận dẫn hướng ra (có dạng xoắn ốc nên gọi là buồng xoắn ốc) để dẫn chất lỏng từ bánh công tác ra ống đã được điều hòa, ổn định và còn có tác dụng biến một phần động năng của dòng chảy thành áp năng cần thiết.

5.3. Tính toán thiết kế bơm ly tâm

5.3.1. Thông số ban đầu^[14]

Lưu lượng của máy bơm là thể tích chất lỏng mà bơm cung cấp vào ống trong một đơn vị thời gian. Lưu lượng được ký hiệu là Q và thường đo bằng m^3/s ; l/s , m^3/h .

Áp suất danh định (Nominal Pressure, ký hiệu: P_n) là giá trị áp suất làm việc tối đa mà một thiết bị, đường ống, van, bơm hoặc phụ kiện có thể chịu được trong điều kiện tiêu chuẩn (thường ở nhiệt độ 20°C). Đây là thông số quan trọng trong thiết kế và lựa chọn thiết bị cho hệ thống áp lực.

Độ cao hút (Suction Head) là khoảng cách thẳng đứng từ mặt nước của nguồn cấp đến tâm trục của bơm (hoặc điểm vào của bơm), thường được đo bằng mét.



Hình 5.7. Bơm ly tâm FPN 10-10000-1H.

Dựa trên Catalog FPN 10-10000-1H Centrifugal fire pump^[12] ta có được các thông số sau:

- Lưu lượng $Q = 10000$ (lít/phút) = 600 (m³/h).
- Áp suất danh định $P_n = 10$ (bar).
- Độ cao hút $H_s = 1,5$ (m).
- Số vòng quay tối đa $n = 2500$ (v/ph).
- Momen xoắn cực đại $[\tau]_{\max} = 1220$ (Nm).

Cột áp là lượng tăng năng lượng riêng của chất lỏng khi đi từ miệng hút đến miệng đẩy của bơm và thường được tính bằng mét cột chất lỏng (đôi khi cũng được tính bằng mét cột nước) và được ký hiệu là H .

Máy bơm FPN-10-10000-1H có chỉ số “10” trong ký hiệu thể hiện áp suất danh định là 10 bar, tức khoảng 10 kg/cm². Theo quy đổi thông thường, với điều kiện tiêu chuẩn, 1 kg/cm² tương đương với khoảng 10 m cột nước. Do đó, cột áp lý thuyết tương ứng với Pn10 có thể đạt khoảng 100 m cột nước.

- Cột áp 100 (m).
- Công suất đầu vào lớn nhất $P_{i\max} = 330$ (kW) = 450 (HP).
- γ là trọng lượng riêng của chất lỏng (nước), $\gamma = 9,81$ (kN/m³).

5.3.2. Tính toán thiết kế bộ trích công suất cho bơm ly tâm

Dựa trên vào sách “Sổ tay máy bơm”^[13] của Ths. Lê Dung do Nhà xuất bản xây dựng Hà Nội xuất bản năm 2006 ta có các công thức sau:

Tỷ số truyền chung:

$$i_{tcs} = \frac{n_{dc}}{n_b} \quad (5.1)$$

Trong đó:

$n_b = 2500$ (vg/ph), Số vòng quay của bơm (tài liệu bơm)

$n_{dc} = 1800$ (vg/ph), Số vòng quay của động cơ tham khảo

Như vậy tỉ số truyền bộ trích công suất là:

$$i_{tcs} = \frac{1800}{2500} = 0,72$$

Công suất của động cơ tại số vòng quay 1800 (vg/ph) là 425 kW.

Công suất tại trục ra hộp trích công suất là:

$$N_{ctb} = N_{dc} \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3^3 = 425 \cdot 0,95 \cdot 0,92 \cdot 0,92^3 = 314,39 \text{ (kW)} \quad (5.2)$$

Trong đó:

$\eta_1 = 0,95$: hiệu suất ly hợp.

$\eta_2 = 0,92$: hiệu suất hộp số.

$\eta_3 = 0,92$: hiệu suất một cặp bánh răng hộp trích công suất.

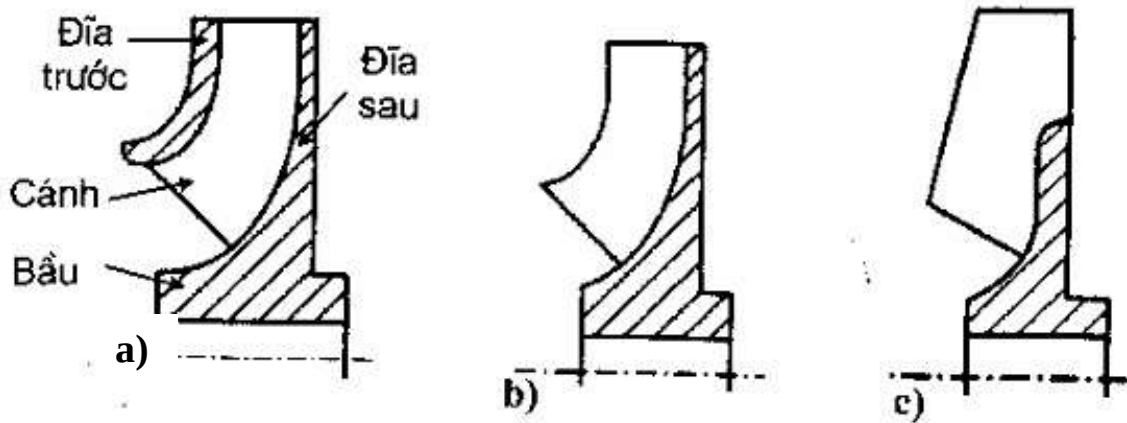
Momen tại trục ra hộp trích công suất là:

$$M_e = \frac{N_e \cdot 9,55 \cdot 10^6}{n} = \frac{425 \cdot 9,55 \cdot 10^6}{2500} = 268 \text{ (Nm)} \quad (5.3)$$

Theo tài liệu kỹ thuật momen giới hạn tại trục ra của hộp trích công suất là 700 Nm. Theo tài liệu kỹ thuật của bơm FPN 10-10000-1H thì công suất lớn nhất là 330 kW. Như vậy, các thông số hộp trích công suất phù hợp. Bơm đạt được 95% công suất.

5.3.3 Bánh công tác bơm ly tâm

Tính toán các thông số bánh công tác bơm ly tâm.



Hình 5.8. Bánh công tác bơm ly tâm

a-Kín; b-Nửa hở; c-Hở.

Cánh công tác của bơm ly tâm có hai dạng cánh chính: cánh trụ tương ứng số vòng quay đặc trưng thấp ($60 < n_s < 100$ vg/ph) và dạng cánh cong trụ tương ứng số vòng quay ns lớn ($100 < n_s < 150$ vg/ph), nếu ($n_s > 150$ vg/ph) lựa chọn cánh cong không gian.



Hình 5.9. Cánh bơm ly tâm dạng cánh trụ (dạng hở).

Do đặc trưng kết cấu khác nhau nên việc tính toán, thiết kế cũng có những điểm khác nhau. Song khi tính toán thiết kế bánh công tác với cả hai loại cánh trên đều có phần tính chung, đó là phần tính toán các thông số làm việc cơ bản, các thông số kết cấu chính của bánh công tác và xây dựng mặt cắt kinh tuyến của nó.

Dựa trên sách “Máy thủy khí cánh dẫn bơm ly tâm và bơm hướng trục”^[10] và thông số tính toán: $Q = 10000$ (l/ph), $H = 100$ (m), $n = 2500$ (vg/ph)

$$n_s = \frac{3,65 \cdot n \cdot \sqrt{Q}}{H^{3/4}} \quad (5.4)$$

Trong đó:

n : số vòng quay bơm, $n = 2500$ (vg/ph)

Q : lưu lượng của bơm, $Q = 10000$ (l/ph) = $0,1667$ (m^3/s)

H : cột áp của bơm, $H = 100$ (m)

Từ đó ta có:

$$n_s = \frac{3,65 \cdot 2500 \cdot \sqrt{0,1667}}{100^{3/4}} \approx 117,8 \text{ (vg/ph)}$$

Với $100 < n_s < 150$, ta chọn **bơm ly tâm dạng cánh cong trụ (dạng khép kín)**.



Hình 5.10. Cánh bơm ly tâm dạng cánh cong trụ (dạng khép kín).

Đặc điểm của cánh cong trụ loại khép kín:

- Hình dạng cánh bơm: Cánh bơm có dạng không gian, với các cánh cong rõ rệt, giúp tối ưu hóa dòng chảy và tăng hiệu suất bơm.
- Vị trí và kết cấu: Cánh bơm (bánh công tác) nằm ở trung tâm, được lắp trên trục bơm và liên kết với các bộ phận khác qua then hoa. Cánh có dạng kín, nghĩa là có nắp che ở hai bên giúp giảm tổn thất thủy lực và tăng áp suất đầu ra.
- Loại cánh bơm phù hợp với bơm chữa cháy: Các bơm ly tâm chữa cháy thường sử dụng cánh cong trụ hoặc cánh kín để tạo áp lực lớn, đảm bảo lưu lượng nước mạnh mẽ khi chữa cháy. Loại cánh này giúp bơm đạt hiệu suất cao và hạn chế thất thoát năng lượng.

Kết luận: Bơm ly tâm chữa cháy trong hình sử dụng cánh cong trụ dạng kín, phù hợp với yêu cầu bơm nước áp lực cao, duy trì dòng chảy ổn định và mạnh mẽ trong hệ thống chữa cháy.

5.3.4. Hiệu suất và công suất của bơm^[12]

Hiệu suất của bơm:

$$\eta_b = \eta_Q \cdot \eta_H \cdot \eta_{ck} \quad (5.5)$$

Trong đó:

η_Q : Hiệu suất lưu lượng của bơm.

η_H : Hiệu suất thủy lực của bơm.

η_{ck} : Hiệu suất cơ khí của bơm.

Đường kính quy dẫn:

$$D_o = (4 \div 4,5) \cdot 10^3 \cdot \sqrt{\frac{Q}{n}} = 4,5 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{\frac{0,1667}{2500}} = 182,48(mm) \quad (5.6)$$

Hiệu suất thủy lực sơ bộ của bơm:

$$\eta_H = 1 - \frac{0,42}{(\log D_o - 0,172)^2} = 1 - \frac{0,42}{(\log 182,48 - 0,172)^2} \approx 0,9 \quad (5.7)$$

Hiệu suất lưu lượng của bơm:

$$\eta_Q = \frac{1}{1 + 0,68 \cdot n_s^{-2/3}} = \frac{1}{1 + 0,68 \cdot 117,8^{-2/3}} \approx 0,97 \quad (5.8)$$

Hiệu suất cơ khí:

$$\eta_{ck} = \eta_{msd} \cdot \eta_{mso} \quad (5.9)$$

Trong đó:

η_{msd} : Hiệu suất tổn thất ma sát giữa bề mặt ngoài bánh ma sát và chất lỏng

η_{mso} : Hiệu suất ma sát trong ổ đỡ và đệm lót

$$\eta_{msd} = \frac{\eta_s^2}{n_s^2 + 820} = \frac{117,8^2}{117,8^2 + 820} \approx 0,94 \quad (5.10)$$

$$\eta_{mso} = 0,95 \div 0,98. \text{ Chọn } \eta_{mso} = 0,98 \quad (5.11)$$

$$\eta_{ck} = 0,94 \cdot 0,98 \approx 0,92$$

Hiệu suất toàn phần của bơm:

$$\eta_b = \eta_H \cdot \eta_Q \cdot \eta_{ck} = 0,9 \cdot 0,97 \cdot 0,92 \approx 0,8$$

Suy ra công suất ra của bơm:

$$N_{tl} = \frac{\gamma Q H}{102} = \frac{1000 \cdot 0,1667 \cdot 100}{102} = 163(kW) \quad (5.12)$$

Công suất vào bơm (trên trục):

$$N_{tr0} = \frac{N_{tl}}{\eta_b} = \frac{163}{0,8} = 203,75(kW) \quad (5.13)$$

Công suất tối đa mà bơm yêu cầu, lấy hệ số dự trữ là 15%

$$N_{tr} = 1,15 \cdot N_{tr0} = 1,15 \cdot 203,75 = 234,31(kW) \quad (5.14)$$

Momen:

$$M = \frac{N_{tr}}{\omega} = \frac{234,31.60}{2.\pi.2500} = 0,89 \text{ (kN.m)} \quad (5.15)$$

Nếu lấy ứng suất bền cho phép của vật liệu làm trục $[\sigma] = 35 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ và hệ số an toàn bằng 2, thì ứng suất làm việc là $[\sigma] = 17,5 \text{ (N/mm}^2\text{)}$.

Đường kính trục:

$$d_{tr} = \sqrt[3]{\frac{16M}{\pi.\sigma}} = \sqrt[3]{\frac{16.0,89}{17,5.\pi}} \approx 0,063 \text{ (m)} \quad (5.16)$$

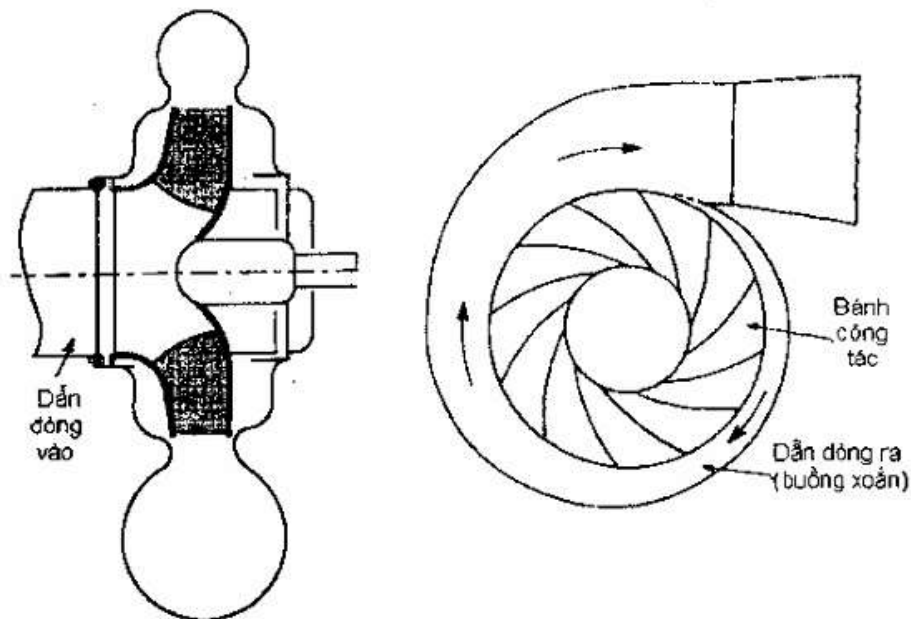
Chọn $d_{tr} = 65 \text{ (mm)}$.

Đường kính bầu:

$$d_b = 1,2.d_{tr} = 1,2.65 = 78 \text{ (mm)} \quad (5.17)$$

Chọn $d_b = 80 \text{ (mm)}$.

5.3.5. Tính toán các kích thước chính của bánh công tác^[12]



Hình 5.11. Bộ phận dẫn dòng bánh công tác.

a. Vận tốc dòng vào của bơm

Vận tốc dòng chảy lối vào bơm có thể tính theo công thức kinh nghiệm sau:

$$V_o = (0,06 \div 0,08) \cdot \sqrt[3]{Q_{lt} \cdot n^2} \quad (5.18)$$

Trong đó:

Q_{lt} : lưu lượng lý thuyết của bơm (m^3/s)

n : số vòng quay của bơm.

Lưu lượng lý thuyết của bơm:

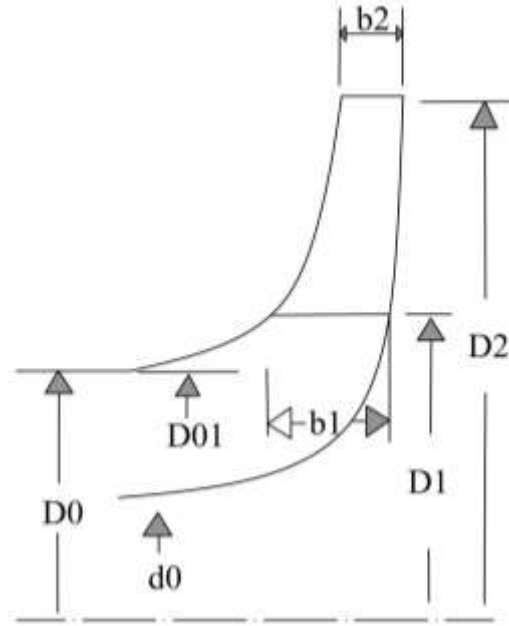
$$Q_{lt} = \frac{Q}{\eta_Q} = \frac{0,1667}{0,97} \approx 0,172(m^3 / s) \quad (5.19)$$

Trong lần tính gần đúng lần thứ nhất:

$$V_o = (0,06 \div 0,08) \cdot \sqrt[3]{2500^2 \cdot 0,172} = 6,15 \div 8,22 (m/s)$$

Chọn $V_o = 6,5(m/s)$.

b. Tính toán các kích thước vào



Hình 5.12. Tiết diện kinh tuyến của bánh công tác.

Chọn đường kính ống hút bơm FPN 10-10000-1H theo catalog^[14], đường kính ống hút $d_h = 245 (mm)$.

Đường kính mắt thất lối vào lấy bằng đường kính ống hút $D_{01} = 245 (mm)$.

Đường kính lối vào lấy theo:

$$D_o = \sqrt{\frac{4Q_{lt}}{\pi \cdot V_o} + d_b^2} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,172}{\pi \cdot 6,5} + 0,08^2} = 0,2 (m) \quad (5.20)$$

Cuối cùng tính lại vận tốc dòng vào bánh công tác:

$$V_o = \frac{4Q_{lt}}{\pi \cdot (D_o^2 - d_b^2)} = \frac{4 \cdot 0,172}{\pi \cdot (0,2^2 - 0,08^2)} = 6,52 (m/s) \quad (5.21)$$

Đường kính mép vào bánh công tác:

$$D_1 = (0,9 \div 1,0) D_o = (0,9 \div 1,0) \cdot 200 = 180 \div 200 (mm) \quad (5.22)$$

Chọn $D_1 = 200(mm)$.

Vận tốc kinh tuyến mép vào bánh công tác:

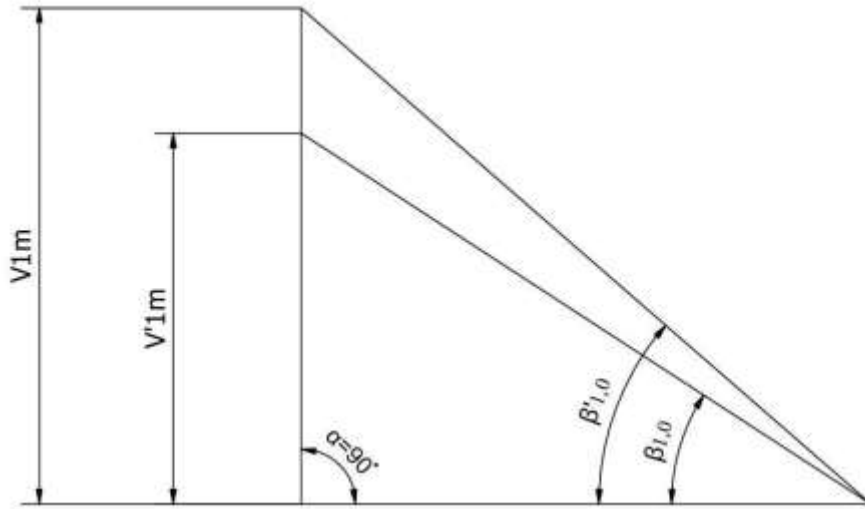
$$V'_{1m} = (0,9 \div 1,0) V_o = (0,9 \div 1,0) \cdot 6,52 = 5,87 \div 6,52 \quad (5.23)$$

Chọn $V'_{1m} = 6,52$ (m/s).

Chiều rộng bánh công tác tại lõi vào:

$$b_1 = \frac{Q_{lt}}{\pi \cdot D_1 \cdot V'_{1m}} = \frac{0,172}{\pi \cdot 0,2 \cdot 6,52} = 0,041 \text{ (m)} \quad (5.24)$$

Xác định góc dòng vào không va đập (Xác định theo dòng hướng kính $V_{1u} = 0$, $\alpha = 90^\circ$).



Hình 5.13. Tam giác vận tốc lõi vào.

Góc dòng vào không va đập khi dòng vào hướng kính được xác định bằng:

$$\tan \beta_{1,0} = K_1 \cdot \frac{V'_{1m}}{U_1} \quad (5.25)$$

Trong đó:

K_1 : hệ số chèn dòng ở lõi vào bơm, $K_1 = 1,1 \div 1,2$, chọn $K_1 = 1,2$

U : vận tốc vòng $U = \omega \cdot R_1 = \frac{n \cdot \pi \cdot D_1}{60} = \frac{2500 \cdot \pi \cdot 0,2}{60} = 26,17$ (m/s)

$$\tan \beta_{1,0} = K_1 \cdot \frac{V'_{1m}}{U_1} = 1,2 \cdot \frac{6,52}{26,17} = 0,298$$

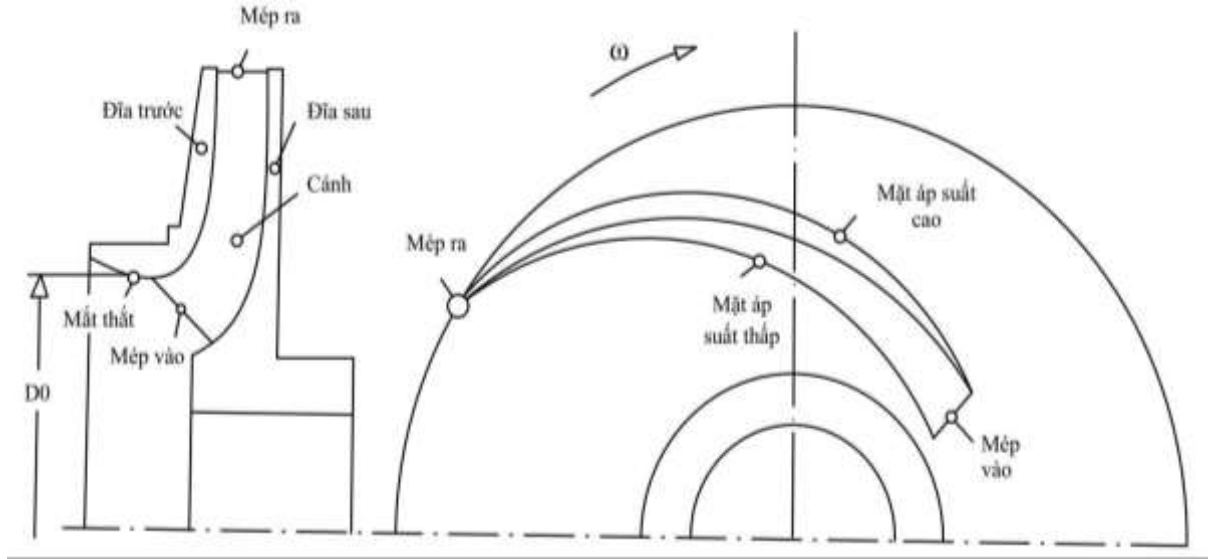
Suy ra $\beta = 16,64^\circ$

$\Delta\beta$: góc va dòng chảy, $\Delta\beta = 5 \div 10^\circ$

Chọn $\Delta\beta = 5,36^\circ$

$$\beta_1 = 16,64^\circ + 5,36^\circ = 22^\circ \quad (5.26)$$

c. Xác định các kích thước ra^[12]



Hình 5.14. Các kích thước của bánh công tác.

Hệ số vận tốc vòng ở lõi ra của bánh công tác

$$K_{v2u} = (1,78 \div 2,0).n_s^{-0,28} = (1,78 \div 2,0).117,8^{-0,28} = 0,47 \div 0,53 \quad (5.27)$$

Lấy $K_{v2u} = 0,53$.

Từ đó ta có:

$$U_2 = \sqrt{\frac{g.H_{lt}}{K_{v2u}}} = \sqrt{\frac{g.H}{\eta_H}} = \sqrt{\frac{9,81 \cdot \frac{100}{0,9}}{0,53}} = 45,34 \text{ (m/s)} \quad (5.28)$$

Đường kính D_2 của bánh công tác được xác định bằng biểu thức:

$$D_2 = \frac{U_2}{\omega} = \frac{60.45,34}{\pi.2500} = 0,345 \text{ (m)} \quad (5.29)$$

Ta thấy tỷ số $\frac{D_2}{D_1} = \frac{345}{200} = 1,725$ nằm trong giới hạn cho phép của bơm ly tâm một

cấp tỷ tốc nhanh $\frac{D_2}{D_1} = 1,6 \div 2,5$

Vận tốc kinh tuyến tại lõi ra của bánh công tác:

$$V'_{2m} = (0,8 \div 1,1).V'_{1m} = 5,216 \div 7,171 \Rightarrow V'_{2m} = 5,5 \text{ (m/s)} \quad (5.30)$$

Xác định bề rộng lõi ra của bánh công tác từ phương trình:

$$Q_{lt} = \pi.D_2.b_2.V'_{2m} \Rightarrow b_2 = \frac{Q_{lt}}{\pi.D_2.V'_{2m}} = \frac{0,172}{\pi.0,345.5,5} = 0,028 \approx 28 \text{ (mm)} \quad (5.31)$$

Xác định góc đặt cánh lõi ra:

$$\sin \beta_2 = \frac{K_2}{K_1} \cdot \frac{V'_{2m}}{V'_{1m}} \cdot \frac{W_1}{W_{2\infty}} \cdot \sin \beta_1 \quad (5.32)$$

Trong đó:

Hệ số chèn dòng lối ra $K_2 = 1,05 \div 1,1$, chọn $K_2 = 1,05$

Hệ số chèn dòng vào $K_1 = 1,1 \div 1,2$, chọn $K_1 = 1,2$

Tỷ số vận tốc theo phương kinh tuyến $\frac{v_{2m}}{v_{1m}} = \frac{5,5}{6,52} = 0,84$

Tỷ số vận tốc tương đối $\frac{W_1}{W_{2\infty}} = 1,25 \div 1,65$, chọn $\frac{W_1}{W_{2\infty}} = 1,58$

Thay giá trị vào công thức trên ta có:

$$\sin \beta_2 = \frac{1,02}{1,2} \cdot 0,84 \cdot 1,58 \cdot \sin 22^\circ = 0,422. \text{ Suy ra, } \beta_2 \approx 25^\circ$$

d. Xác định số cánh dẫn của bánh công tác

Số cánh dẫn của bánh công tác được xác định theo công thức sau

$$Z = K_z \cdot \frac{D_2 + D_1}{D_2 - D_1} \cdot \sin \frac{\beta_2 + \beta_1}{2} \quad (5.33)$$

Trong đó:

K_z : là hệ số phụ thuộc vào công nghệ chế tạo. Với bánh công tác được chế tạo bằng phương pháp đúc ta xác định được $K_z = 6$.

$$Z = K_z \cdot \frac{D_2 + D_1}{D_2 - D_1} \cdot \sin \frac{\beta_1 + \beta_2}{2} = 6 \cdot \frac{0,345 + 0,2}{0,345 - 0,2} \cdot \sin \frac{22 + 25}{2} = 8,99$$

Ta chọn số cánh của bánh công tác là $Z = 9$ cánh.

5.3.6. Tính toán chiều dày bánh công tác tại mép vào và mép ra^[12]

Hệ số chèn dòng ở cửa vào được xác định theo công thức:

$$K_1 = \frac{T_1}{T_1 - S_1} \quad (5.34)$$

$$\text{Bước cánh lối vào: } T_1 = \frac{\pi \cdot D_1}{Z} = \frac{\pi \cdot 0,2}{9} = 0,07 \text{ (m)} \quad (5.35)$$

Chiều dày cánh ở cửa vào theo phương U:

$$S_1 = \frac{\delta_1}{\sin \beta_1} \quad (5.36)$$

$$\text{Suy ra: } \delta_1 = \left(1 - \frac{1}{K_1}\right) \cdot T_1 \cdot \sin \beta_1 = \left(1 - \frac{1}{1,2}\right) \cdot 0,07 \cdot \sin 22^\circ = 4,37 \text{ (mm)} \quad (5.37)$$

Chọn $\delta_1 = 4,5 \text{ (mm)}$.

Ta có:
$$S_1 = \frac{4,5}{\sin 22^\circ} = 12,01(\text{mm})$$

Tính lại hệ số chèn dòng K_1 :
$$K_1 = \frac{70}{70 - 12,01} \approx 1,21$$

Sai số sau khi tính lại:
$$\varepsilon = \frac{|1,21 - 1,2|}{1,2} \cdot 100\% = 0,83\%$$

Bước cánh ở lõi ra:
$$T_2 = \frac{\pi \cdot D_2}{z} = \frac{\pi \cdot 345}{9} = 120,42(\text{mm}) \quad (5.38)$$

Chiều dày cánh ở lõi ra:

$$\delta_2 = (1 - \frac{1}{K_2}) \cdot T_2 \cdot \sin \beta_2 = (1 - \frac{1}{1,05}) \cdot 120,42 \cdot \sin 25 = 2,42(\text{mm}) \quad (5.39)$$

Chọn $\delta_2 = 3,5(\text{mm})$.

Chiều dày cánh ở cửa ra theo phương U:

$$S_2 = \frac{\delta_2}{\sin \beta_2} = \frac{2,5}{\sin 25} = 5,91 \quad (5.40)$$

Tính lại hệ số chèn dòng:
$$K_2 = \frac{T_2}{T_2 - S_2} = \frac{120,77}{120,77 - 5,91} \approx 1,051 \quad (5.41)$$

Sai số:
$$\varepsilon = \frac{|1,051 - 1,05|}{1,05} \cdot 100\% = 0,095\% \quad (5.42)$$

Sai số ε nằm trong phạm vi cho phép $\leq [3 \div 5\%]$ ^[12].

Vận tốc tương đối của dòng chảy ở cửa vào W_1 và cửa ra W_2 của bánh công tác:

$$W_1 = K_1 \cdot \frac{V'_{1m}}{\sin \beta_1} = 1,2 \cdot \frac{6,52}{\sin 22} = 20,88(\text{m/s}) \quad (5.43)$$

$$W_2 = K_2 \cdot \frac{V'_{2m}}{\sin \beta_2} = 1,05 \cdot \frac{5,5}{\sin 25} = 13,66(\text{m/s}) \quad (5.44)$$

5.3.7. Tính kiểm nghiệm^[12]

Vận tốc theo khi ra khỏi bánh công tác được xác định theo công thức:

$$U_2 = \frac{V_{2m}}{2 \tan \beta_2} + \sqrt{\left(\frac{V_{2m}}{2 \tan \beta_2}\right)^2 + g \cdot H_{l\infty}} \quad (5.45)$$

Cột áp lý thuyết của bơm khi kể đến ảnh hưởng của số cánh hữu hạn được xác định theo công thức sau:

$$H_{l\infty} = (1 + p) \cdot H_{lt} \quad (5.46)$$

Trong đó:

p là hệ số kể đến ảnh hưởng của số cánh hữu hạn được

$$p = \frac{2\psi}{Z} \cdot \frac{1}{1 - \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^2} \quad (5.47)$$

Với:

R_1 - Bán kính mép vào bánh công tác, $R_1 = 0,1$ (m).

R_2 - Bán kính lõi ra bánh công tác, $R_2 = 0,173$ (m).

Hệ số $\psi = (0,55 \div 0,65) + 0,65 \cdot \sin \beta_2 = 0,82 \div 0,92$

Chọn $\psi = 0,85$.

Thay giá trị này vào phương trình trên ta xác định được hệ số p :

$$p = 2 \cdot \frac{\psi}{Z} \cdot \frac{1}{1 - \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^2} = 2 \cdot \frac{0,85}{9} \cdot \frac{1}{1 - \left(\frac{0,1}{0,173}\right)^2} = 0,426$$

Thay giá trị của p vào công thức ta có:

$$H_{lt\infty} = (1 + p) \cdot H_{lt} = (1 + 0,426) \cdot 111,1 = 158,42 \text{ (m H}_2\text{O)}$$

Vận tốc theo khi ra khỏi bánh công tác được xác định theo công thức:

$$V_{2m} = K_2 \cdot V'_{2m} = 1,05 \cdot 5,5 = 5,575 \quad (5.48)$$

$$U_2 = \frac{V_{2m}}{2 \tan \beta_2} + \sqrt{\left(\frac{V_{2m}}{2 \tan \beta_2}\right)^2 + gH_{lt\infty}} \quad (5.49)$$

$$U_2 = \frac{5,575}{2 \cdot \tan 25^\circ} + \sqrt{\left(\frac{5,575}{2 \tan 25^\circ}\right)^2 + 9,81 \cdot 158,42} = 45,85 \text{ (m/s)}$$

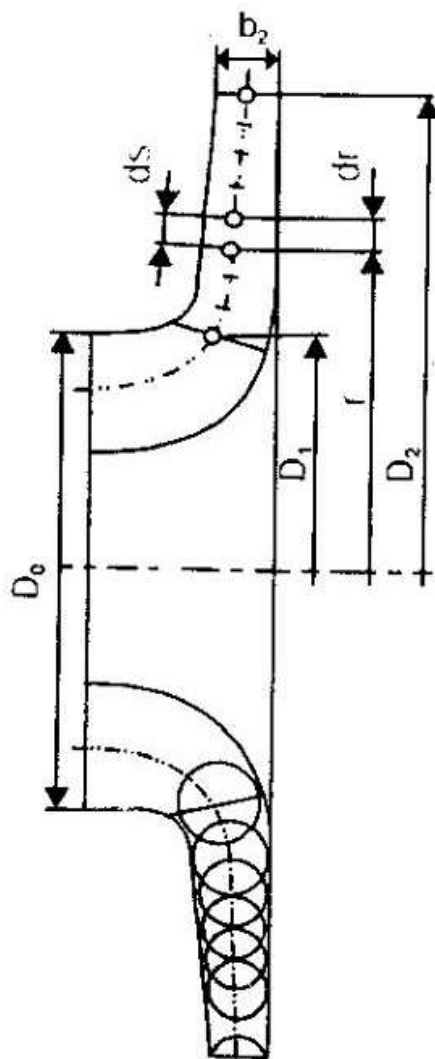
Từ công thức:

$$U_2 = \frac{\pi \cdot D_2^* \cdot n}{60} \rightarrow D_2^* = \frac{60 \cdot U_2}{\pi \cdot n} = \frac{60 \cdot 45,85}{\pi \cdot 2500} = 0,35 \text{ (m)}$$

Sai số:

$$\Delta D_2 = \frac{|D_2^* - D_2|}{D_2} \cdot 100 = \frac{|0,35 - 0,345|}{0,346} \cdot 100 = 1,16\% \quad (5.50)$$

Như vậy sai số trên nằm trong khoảng $\leq [0,03 \div 0,05]^{[12]}$ có thể chấp nhận được.



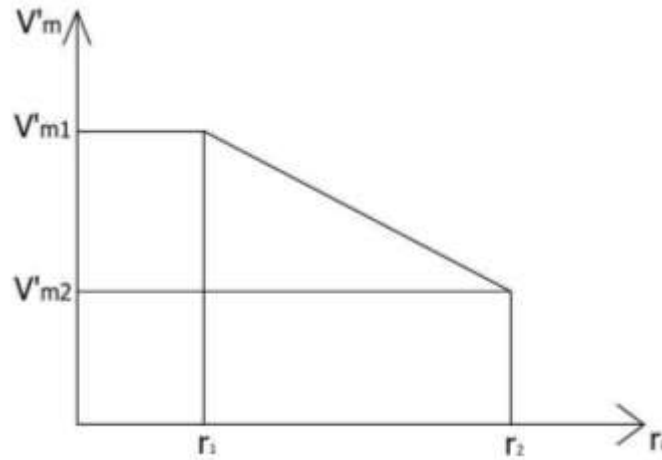
Hình 5.15. Các thông số trên bánh công tác

Bảng 5.1. Các thông số của bánh công tác sau khi đã tính toán

D_1	200 (mm)	d_{tr}	65 (mm)
D_2	345 (mm)	β_1	22°
b_1	41 (mm)	β_2	25°
b_2	28 (mm)	δ_1	4,5 (mm)
d_b	80 (mm)	δ_2	3,5 (mm)
Z	9 (cánh)	H_{lt}	111,1(m)
Q_{lt}	0,172 (m ³ /s)	$H_{lt\infty}$	158,42 (m H ₂ O)

5.3.8. Xây dựng tiết diện kinh tuyến bánh công tác sơ bộ^[12]

Ta xây dựng tiết diện kinh tuyến theo phương pháp biến thiên vận tốc. Giả sử vận tốc biến thiên tuyến tính từ lõi ra cho đến lõi vào như hình



Hình 5.16. Mô tả đồ thị biến thiên vận tốc từ mép vào đến mép ra

$$\text{Diện tích các tiết diện: } f_i = 2.\pi.r_i.b_i \quad (5.51)$$

$$\text{Vận tốc kinh tuyến các tiết diện: } V_{mi} = \frac{Q_{lt}}{2\pi r_i b_i} = \frac{Q_{LT}}{f_i} \quad (5.52)$$

Với giả thiết sự biến thiên diện tích các thiết diện như hình trên thì ta xác định được bề rộng lõi ra bánh công tác b_i và vận tốc kinh tuyến V_{mi}

Xét 2 điểm trên đồ thị tại lõi ra và lõi vào: điểm $A(r_1, V'_{m1})$ và điểm $B(r_2, V'_{m2})$ với V'_m vận tốc dòng chất lỏng, r_1, r_2 lần lượt là bán kính mép vào và mép ra bánh công tác:

$$r_1 = \frac{D_1}{2} = \frac{0,2}{2} = 0,1(m) \rightarrow V'_{m1} = 6,5(m/s)$$

$$r_2 = \frac{D_2}{2} = \frac{0,345}{2} = 0,173(m) \rightarrow V'_{m2} = 5,5(m/s)$$

Vậy ta xác định được hai điểm A và B:

- Điểm A (0,1; 6,5)
- Điểm B (0,1725; 5,5)

Phương trình đường thẳng qua AB có dạng

$$\frac{-400}{29}x + \frac{457}{58} = y$$

Trong đó:

x ứng với giá trị các bán kính r_i

y ứng với vận tốc V'_{mi} .

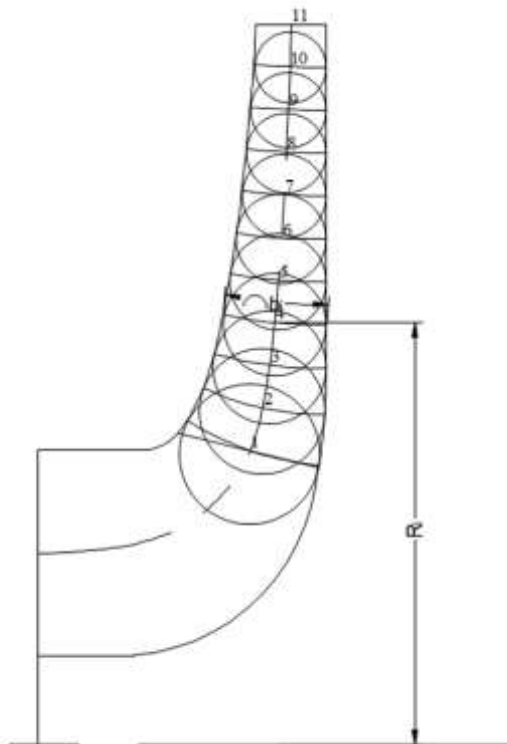
Bảng 5.2. Sự thay đổi vận tốc kinh tuyến theo r

STT	Bán kính R	Vận tốc kinh tuyến (m/s)	Chiều rộng (m)	Diện tích máng dẫn (m ²)
1	0,1	6,5	0,041	0,025
2	0,125	6,1	0,036	0,028
3	0,15	5,8	0,032	0,0301
4	0,1725	5,5	0,028	0,0303

Đồ thị biến thiên vận tốc kinh tuyến bánh công tác như hình dưới, ta thấy sự biến thiên vận tốc theo quy luật tuyến tính giảm dần từ mép vào đến mép ra

Ta dựng được tiết diện kinh tuyến

- Bước 1: Dựng trục tọa độ gốc x, y
- Bước 2: Xác định các kính thước cơ bản
- Bước 3: Dựng đường tròn có đường kính $R_i = b_i$
- Bước 4: Nối các đường tâm của đường tròn ta được đường trung bình
- Bước 5: Trên đường trung bình ta tiếp tục dựng các đường tròn có bán kính $R_i = b_i$
- Bước 6: Nối các đường tròn theo phương tiếp tuyến trái phải ta được mặt cắt kinh tuyến của bơm
- Bước 7: Tinh chỉnh cho biên dạng đường cong là đường cong tròn.



Hình 5.17. Tiết diện kinh tuyến bánh công tác

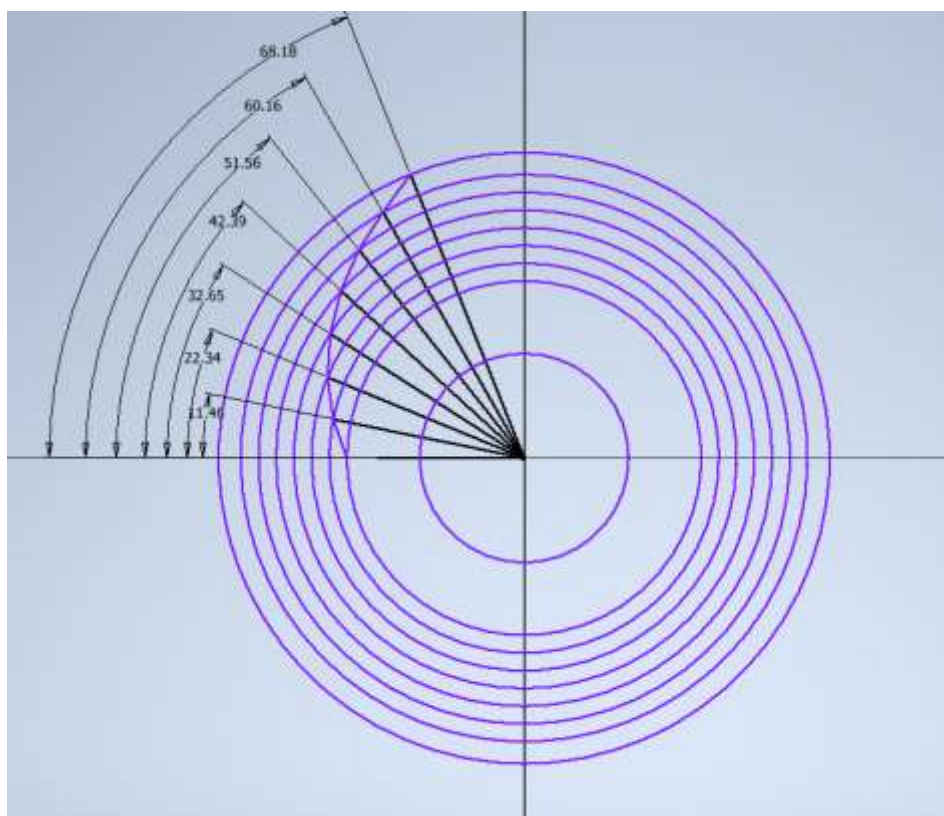
$$\text{Độ biến thiên bán kính bánh công tác: } \Delta r = r_{i+1} - r_i \quad (5.53)$$

$$\text{Hệ số tải thủy lực: } B = \frac{1}{r \cdot \tan \beta} \quad (5.54)$$

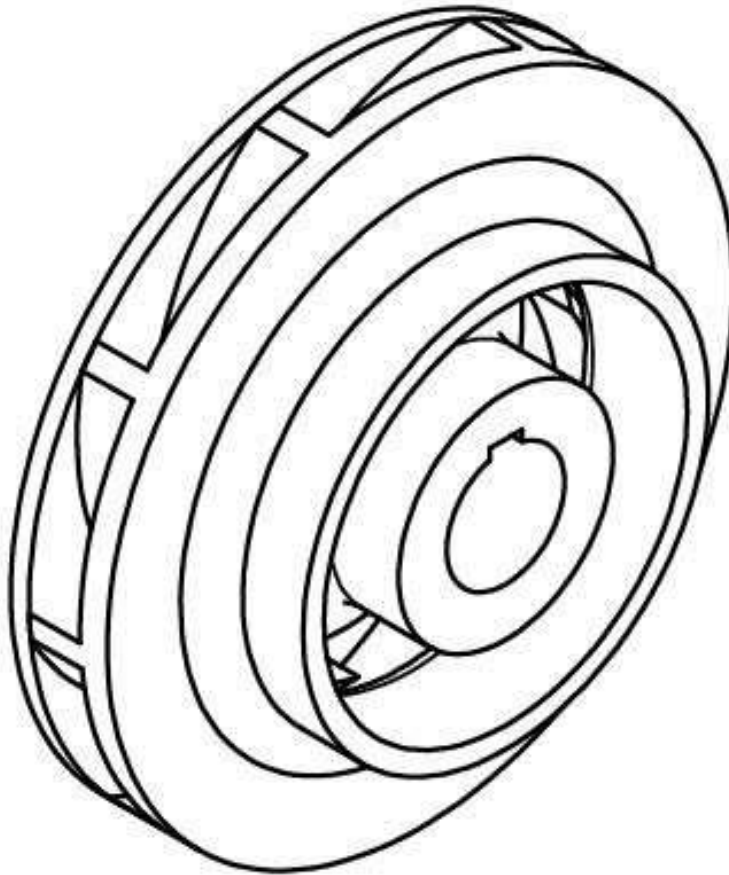
$$\text{Độ biến thiên góc bao: } \Delta \theta = \Delta r \cdot \frac{B_i + B_{i-1}}{2} \quad (5.55)$$

Bảng 5.3. Tiết diện kinh tuyến của bánh công tác

STT	r (mm)	β	$\tan \beta$	B (m ⁻¹)	Δr	$\Delta \theta$	θ (rad)	θ (độ)
1	100	25°	0,466	21,46	-	-	0	0
2	110	24,7°	0,459	19,8	0,01	0,2	0,2	11,46
3	120	24,4°	0,453	18,39	0,01	0,19	0,39	22,34
4	130	24,1°	0,447	17,2	0,01	0,18	0,57	32,65
5	140	23,8°	0,441	16,1	0,01	0,17	0,74	42,39
6	150	23,5°	0,434	15,36	0,01	0,16	0,9	51,56
7	160	23,2°	0,429	14,57	0,01	0,15	1,05	60,16
8	172,5	22,9°	0,422	13,73	0,0125	0,14	1,19	68,18



Hình 5.18. Biên dạng cánh của bơm.



Hình 5.19. Bản vẽ 3D cánh bơm ly tâm.

5.3.9. Thiết kế phần dẫn dòng ra kiểu buồng xoắn^[12]

a. Vai trò của bộ phận dẫn dòng

Đối với bơm cánh dẫn nói chung, chi tiết thủy lực quan trọng nhất giữ chức năng thực hiện việc trao đổi năng lượng của máy là bánh công tác. Hai bộ phận tiếp giáp trước và sau bánh công tác là dẫn dòng vào và ra. Hai chi tiết này không trực tiếp tham gia trao đổi năng lượng, nhưng chúng giữ vai trò tạo điều kiện cho bánh công tác thực hiện có hiệu quả việc trao đổi năng lượng. Nếu các bộ phận dẫn dòng không được tính toán thiết kế hợp lý sẽ ảnh hưởng tới hiệu suất của việc trao đổi năng lượng. Bộ phận dẫn dòng ra làm nhiệm vụ dẫn chất lỏng từ bánh công tác ra ống đẩy, nó phải đảm bảo được các yêu cầu cơ bản sau.

Đảm bảo dòng đối xứng trục sau khi ra khỏi bánh công tác tạo điều kiện thuận lợi cho chuyển động ổn định của dòng trong bánh công tác.

Giảm động năng của dòng ra khỏi bánh công tác để giảm tổn thất năng lượng của dòng trong đường ống đẩy. Kinh nghiệm cho thấy khoảng 25% động năng biến đổi thành áp năng trong khu vực này là phù hợp.

Hiện nay người ta thường dùng hai loại buồng dẫn đó là buồng dẫn kiểu ống xoắn (gọi là buồng xoắn) và buồng dẫn kiểu cánh. Trong đồ án này em thiết kế kiểu buồng dẫn ra kiểu xoắn, loại có một ống xoắn (kiểu buồng xoắn đơn).

b. Phân loại kiểu buồng xoắn

Bảng 5.4. Phân loại buồng xoắn

Tiêu chí	Buồng xoắn tiết diện tròn	Buồng xoắn tiết diện thang
Hình dạng tiết diện	Hình tròn hoặc gần tròn.	Hình thang hoặc chữ nhật.
Chế tạo	Dễ gia công, phù hợp với phương pháp gia công đúc hoặc hàn.	Gia công phức tạp.
Phân bố áp lực lên bánh công tác	Đồng đều, giảm lực hướng tâm lên bánh công tác.	Không đồng đều.
Tổn thất thủy lực	Thấp hơn, dòng chảy ổn định, ít xoáy.	Cao hơn, dễ xảy ra hiện tượng dòng chảy phân tầng.
Hiệu suất thủy lực	Cao hơn trong đa số trường hợp.	Phụ thuộc vào thiết kế; có thể tối ưu ở một dải lưu lượng hẹp.
Ổn định khi thay đổi lưu lượng	Ổn định.	Có thể xảy ra dao động áp lực và lưu lượng.
Khả năng làm việc ở tốc độ cao	Tốt hơn, ít rung và xâm thực.	Kém hơn, dễ rung và tạo áp suất thấp cục bộ.
Kích thước tổng thể	Có thể lớn hơn do cấu trúc hình tròn.	Gọn hơn về chiều ngang, phù hợp không gian hẹp.
Ứng dụng	Bơm cứu hỏa, bơm công nghiệp, bơm áp lực cao.	Bơm dân dụng nhỏ, bơm thoát nước.

Từ bảng so sánh trên, lựa chọn thiết kế kiểu buồng xoắn tiết diện tròn sẽ phù hợp hơn đối với bơm ly tâm sử dụng trên xe cứu hỏa.

c. Tính toán thiết kế buồng xoắn^[12]

Các thông số đầu vào để tính toán buồng xoắn được lấy từ bánh công tác sau khi đã tính toán:

- Đường kính lõi ra bánh công tác $D_2 = 345(\text{mm})$.
- Bề rộng lõi bánh công tác $b_2 = 28(\text{mm})$.

Tính toán bắt đầu từ việc chọn đường kính D_3 và chiều rộng b_3 của buồng xoắn trong đó D_3 thường được chọn như sau:

$$D_3 = (1,03 \div 1,05).D_2 = 356 \div 363,3(\text{mm}) \quad (5.56)$$

Chọn $D_3 = 360(\text{mm})$

Chiều rộng buồng xoắn được chọn như sau:

$$b_3 = b_2 + (0,02 \div 0,05).D_2 = 28 + (0,02 \div 0,05).346 = 34,92 \div 45,3(\text{mm}) \quad (5.57)$$

Ta chọn $b_3 = 42(\text{mm})$.

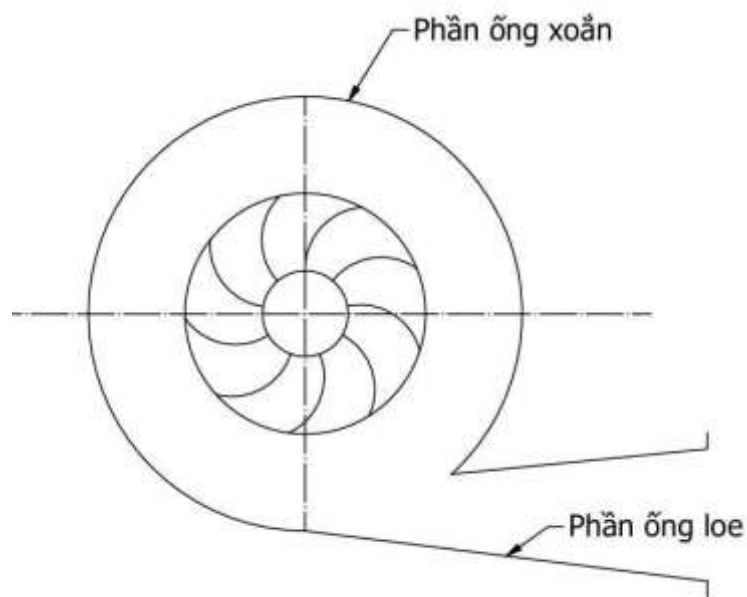
Với $n_s = 117,8$ (v/ph), ta có:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = 261,8(\text{rad/s})$$

$$K = \frac{720 \cdot \pi \cdot g}{\omega} \cdot \frac{H_{lt}}{Q} = \frac{720 \cdot \pi \cdot 9,81}{261,8} \cdot \frac{111,1}{0,172} = 54747,88 \quad (5.58)$$

Bảng 5.5. Tính toán buồng xoắn thiết diện tròn

θ	$\frac{\theta}{K}$	$\sqrt{2R_3 \cdot \frac{\theta}{K}}$	ρ (mm)	$a_3 = \rho + R_3$
0°	0	0	0	180
45°	$8,2 \cdot 10^{-4}$	0,017	28	208
90°	$1,64 \cdot 10^{-3}$	0,024	30	210
135°	$2,46 \cdot 10^{-3}$	0,029	32	212
180°	$3,28 \cdot 10^{-3}$	0,034	34	214
225°	$4,1 \cdot 10^{-3}$	0,038	36	216
270°	$4,93 \cdot 10^{-3}$	0,042	38	218
315°	$5,75 \cdot 10^{-3}$	0,045	40	220
360°	$6,57 \cdot 10^{-3}$	0,048	42	222



Hình 5.20. Các bộ phận của buồng xoắn.

Ống loe nối buồng xoắn với ống đẩy, trong ống loe có một phần động năng được biến thành áp năng, do vậy ống loe phải có độ loe thích hợp để giảm tổn thất của dòng chất lỏng chuyển động qua ống.

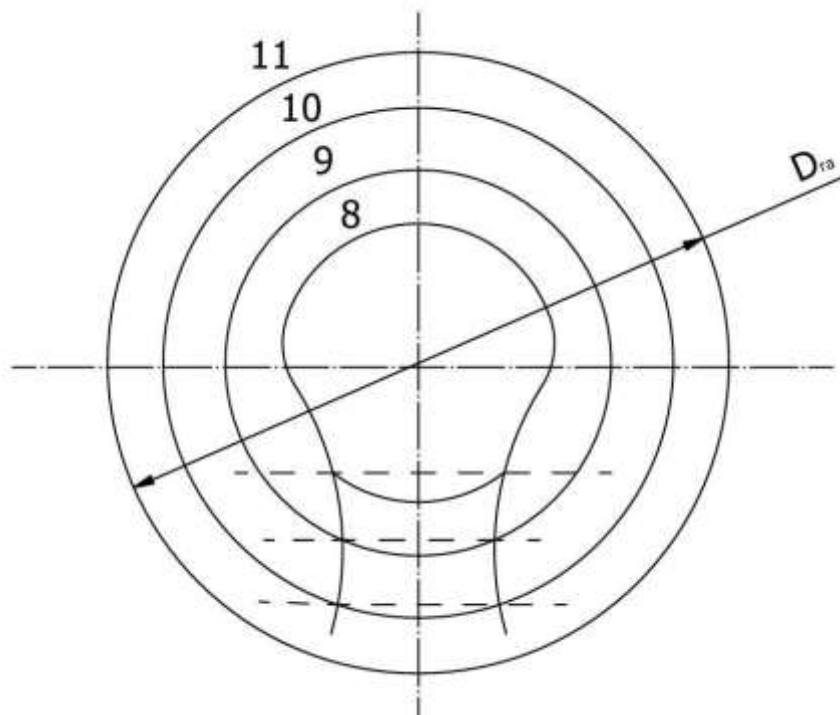
Phần ống loe có tiết diện biến đổi từ tiết diện tính toán đến tiết diện cuối cùng (nối với ống đẩy). Các tiết diện chuyển tiếp phải có diện tích bằng diện tích hình tròn tương đương ứng với độ loe tính toán. Góc loe cũng như chiều dài ống loe được tính toán sao cho đảm bảo các điều kiện sau

Vận tốc trung bình ở cửa ra ống loe $v_{loe} = (2 \div 6) \text{ m/s}$

Góc loe phải đảm bảo hợp lý, không gây nên tách thành, thông thường $\alpha_{loe} = 5^\circ \div 12^\circ$, trường hợp ống loe cong có thể lấy lên 16° . Ta chọn góc loe $\alpha_{loe} = 6^\circ$.

Chọn vận tốc trung bình lối ra ống loe $v_{loe} = 6 \text{ m/s}$ ta xác định được đường kính ở lối ra của ống loe:

$$D_{ra} = \sqrt{\frac{4.Q}{\pi.v_{loe}}} = \sqrt{\frac{4.0,172}{\pi.6}} = 0,19(\text{m}) \quad (5.59)$$

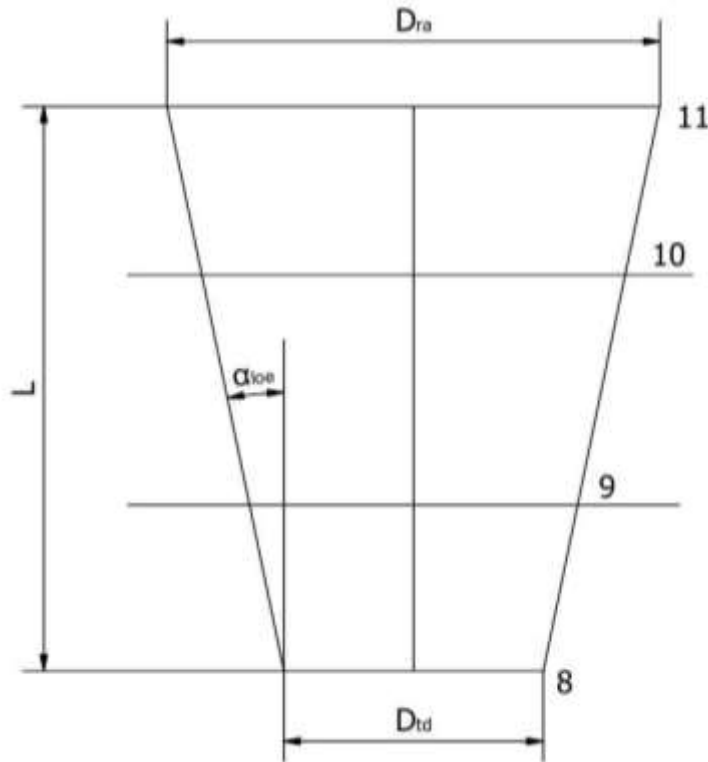


Hình 5.21. Đường kính ở lối ra ống loe.

Đường kính ống ra khỏi buồng xoắn được chọn trong dải tiêu chuẩn. Căn cứ vào tài liệu trong giáo trình Máy thủy khí cánh dẫn bơm ly tâm và bơm hướng trục^[12] của PGS.TS Hoàng Thị Bích Ngọc ta chọn $D_{ra} = 190 \text{ (mm)}$.

Tiết diện tròn cuối cùng có diện tích:

$$A_{360^\circ} = \pi.\rho_{360^\circ}^2 = \pi.\left(\frac{42}{1000}\right)^2 = 5,54.10^{-3}(\text{m}^2) \quad (5.60)$$



Hình 5.22. Các ký hiệu kích thước trên ống loe.

Để tính toán ống loe, cần đưa ống loe về dạng ống loe nón tương đương. Đường kính lớn của ống loe bằng đường kính ống đầy D_{ra} , còn đường kính nhỏ bằng đường kính tương đương D_{td} xác định từ diện tích lớn nhất của buồng xoắn:

$$D_{td} = \sqrt{\frac{4A_{360^\circ}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4.5,54.10^{-3}}{\pi}} \approx 0,084 = 84(\text{mm}) \quad (5.61)$$

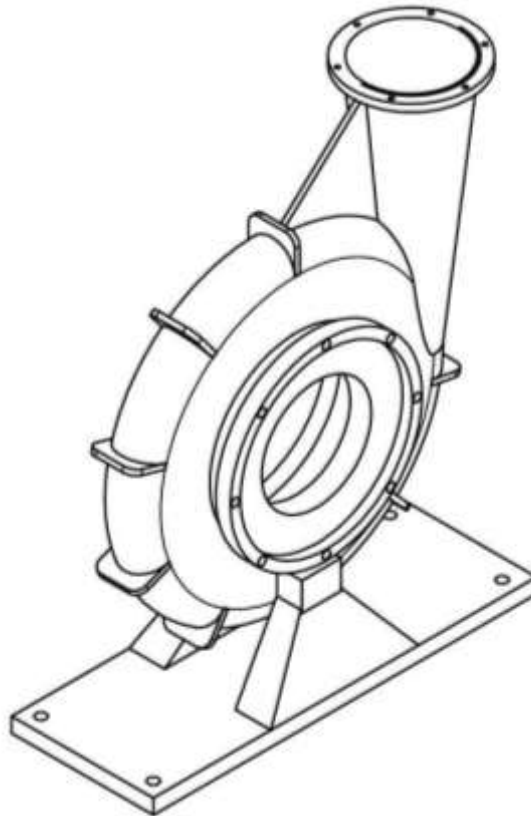
Nếu gọi L là chiều dài ống loe và chiều dài ống loe được xác định:

$$\alpha_{loe} = \arctg \frac{D_{ra} - D_{td}}{2L} \quad (5.62)$$

Thế số vào ta có:

$$6^\circ = \arctg \frac{190 - 84}{2L}$$

Suy ra: $L = 504,26(\text{mm})$.



Hình 5.23. Bản vẽ 3D vỏ bơm ly tâm.

5.3.10. Lựa chọn vật liệu thiết kế bơm

a. Chọn vật liệu vỏ bơm

Bảng 5.6. Bảng vật liệu vỏ bơm

Loại vật liệu	Gang cầu (Ductile iron)	Hợp kim nhôm (Aluminum alloy)	Inox	Hợp kim đồng (Brass)
Ưu điểm	Giá thành hợp lý, chịu lực kéo, lực va đập và áp suất làm việc lớn, dễ gia công (tối ưu chi phí sản xuất).	Trọng lượng nhẹ (giảm tải cho xe), chống ăn mòn khá tốt nếu được xử lý bề mặt.	Độ bền thấp hơn gang hoặc inox, dễ bị mài mòn nếu bơm nước có cát.	Thường dùng cho các bộ phận cánh bơm hoặc chi tiết nhỏ trong bơm.
Nhược điểm	Nặng hơn hợp kim nhôm hoặc inox, chống ăn mòn kém hơn inox.	Độ bền thấp hơn gang hoặc inox, dễ bị mài mòn nếu bơm nước có cát.	Giá thành cao, trọng lượng nặng hơn nhôm.	Với vỏ bơm, ít dùng do chi phí cao.

Kết luận: Dựa vào bảng so sánh trên, gang cầu là lựa chọn cân bằng giữa hiệu năng và chi phí, đặc biệt phù hợp với vỏ bơm xe cứu hỏa nơi cần độ bền, chịu áp cao và khả năng vận hành ổn định trong thời gian dài.

b. Chọn vật liệu cánh bơm ly tâm

Vật liệu bánh công tác cần thiết phải đảm bảo được các yêu cầu cơ bản sau:

- Bền về cơ học: Các vành của bánh công tác chịu lực ly tâm. Ngoài ra, khi lực dọc trục lớn cũng gây nên hiện tượng uốn của vành bánh công tác ngàm vào trục.
- Chống rỉ, chống ăn mòn hóa học khi làm việc tiếp xúc với chất lỏng: Tùy theo tính chất hóa học của chất thủy lưu chuyển trong bơm mà xác định vật liệu làm bánh công tác, cũng như các chi tiết tiếp xúc với chất lỏng làm việc cho phù hợp. Đối với bơm nước sạch làm việc ở nhiệt độ thường các vật liệu chế tạo bánh công tác thông thường là gang, đồng, nhôm, thép không gỉ...
- Chịu được mài mòn cơ học khi làm việc với chất lỏng: Khi bơm làm việc với chất lỏng tạp pha rắn. Các phân tử rắn luôn cọ sát, va đập vào thành bánh công tác.
- Chịu được ăn mòn xâm thực ở một mức độ nhất định: Mỗi vật liệu có mức độ chịu ăn mòn xâm thực khác nhau. Những vật liệu chịu ăn mòn xâm thực kém sẽ có giá thành rẻ hơn những vật liệu chịu ăn mòn xâm thực tốt. Do đó thường phải dung hòa một số yêu cầu sao cho phù hợp với điều kiện thực tế.
- Thuận lợi cho việc đúc hoặc gia công cơ khí: Bánh công tác bơm ly tâm thường được chế tạo bằng phương pháp đúc hoặc đúc kết hợp hàn.

Bảng 5.7. Bảng vật liệu bánh công tác

Loại vật liệu	Gang xám (Gray cast iron)	Inox	Nhựa kỹ thuật (PPO,PVDF,PTFE)
Ưu điểm	Giá rẻ, dễ đúc, dễ gia công.	Chống ăn mòn rất tốt, độ bền cao, chịu được hóa chất và nước mặn (đặc biệt là inox 316).	Kháng hóa chất tốt, nhẹ, không bị gỉ.
Nhược điểm	Dễ gãy giòn, chống ăn mòn kém.	Giá cao, nặng hơn nhôm	Chịu lực kém, giới hạn nhiệt độ thấp hơn kim loại.
Ứng dụng	Dùng trong môi trường nước sạch, áp suất vừa phải.	Bơm nước biển, bơm chữa cháy, bơm hóa chất.	Bơm hóa chất, bơm nước sạch có tính axit/kiềm.

Kết luận: Dựa trên những ưu, nhược điểm, phạm vi ứng dụng, ta lựa chọn Inox 316 để thiết kế cho cánh bơm ly tâm xe chữa cháy.

5.3.11. Tiêu chuẩn quốc gia và vận hành bơm ly tâm^[34]

a. TCVN 13316-1:2021

Dây điện của các hệ thống chuyên dùng trên xe chữa cháy và xe chassis không nên dùng chung một thiết bị an toàn. Cơ chế của hộp trích công suất, đèn chiếu sáng bằng thao tác bơm, đèn cảnh báo và lăng chữa cháy điều khiển bằng điện phải có thiết bị bảo vệ độc lập.

Khoang bơm chữa cháy phải lắp đặt đèn chiếu sáng. Đèn chiếu sáng khoang bơm phải dễ dàng tháo gỡ thay thế nếu bị hư hỏng.

Xe chữa cháy phải có tính năng độ kín chống nước mưa tốt, cabin, thiết bị điện, khoang thiết bị, thiết bị cần thiết chống nước (nếu loại thiết bị trong khoang thiết bị không xác định được, thì phải có tính năng độ kín chống nước mưa của khoang thiết bị và có thiết bị chống nước tương đồng) và các thiết bị điện, đèn cảnh báo, đèn nhấp nháy... trong khoang bơm chữa cháy không được rò rỉ nước chảy vào.

Kiểm tra đường nước vào, đường nước ra của bơm chữa cháy với đầu vào của đồng hồ đo áp suất trên bảng điều khiển, đo đường kính và chiều dài của ren kết nối bằng thước cặp và đo bước ren bằng thước đo ren để xác định kết quả.

b. Vận hành bơm

Người vận hành bơm phải là người đã được đào tạo chuyên môn. Quá trình huấn luyện vận hành bơm cần phải được lặp lại nhiều lần.

Đọc kỹ hướng dẫn sử dụng và quy tắc an toàn khi vận hành bơm. Không vận hành bơm nếu chưa hiểu rõ quy trình.

Chỉ nối/ngắt bơm khi động cơ đang chạy không tải. Tránh tăng áp đột ngột, đóng/mở van từ từ.

Đảm bảo không còn áp suất khi tháo chụp khớp nối. Kiểm tra các đường ra áp lực không sử dụng đã đóng kín.

Không vận hành bơm áp cao khi đường ra bị đóng. Có thể gây nóng vỏ bơm và nguy hiểm cho người vận hành.

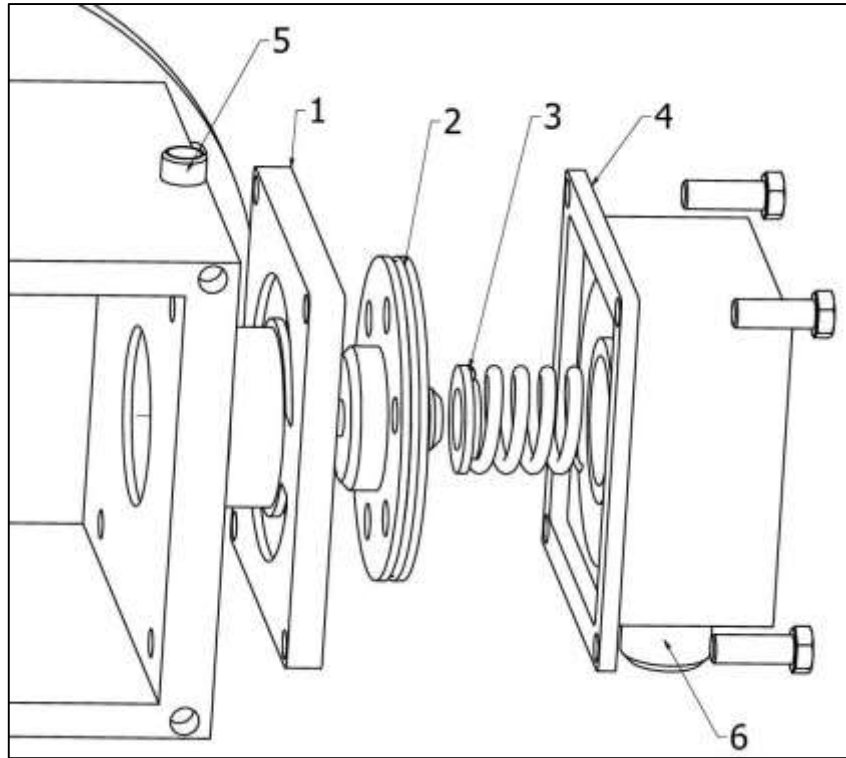
Luôn gắn bộ lọc hút khi lấy nước ngoài trời. Không tháo bơm khi bơm đang hoạt động.

Đảm bảo vị trí vận hành an toàn, bằng phẳng, đủ sáng. Kiểm tra thường xuyên các ống và vòi để tránh rò rỉ gây nguy hiểm

5.4. Hệ thống TROKOMAT PLUS^[14]

5.4.1. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động

Hệ thống TROKOMAT PLUS là bơm thông khí bằng piston khô sẽ tự động thực hiện quá trình thông khí. Nằm ở mỗi bên của cơ cấu truyền động hoặc vỏ bơm của bơm chữa cháy ly tâm là các bích tựa và nắp xi lanh trong đó có một piston công tác. Piston được dẫn động bởi một cam trên trục bơm.



Hình 5.24. Cấu tạo hệ thống TROKOMAT PLUS
1-Bích tựa; 2-Nắp chụp xy lạnh; 3-Lò xo; 4-Piston; 5-Đường vào; 6-Đường ra.

Vị trí hoạt động thông khí

Các piston (4) chuyển động tới lui thông qua cam quay được nối với trục bơm. Không khí từ bơm và đường hút được thoát ra qua các kênh hút trong lúc piston hoạt động. Khí lưu thông qua các màng ngăn hút của cửa mở vào trong buồng hành trình.

Các lò xo (3) và áp suất khí bên ngoài nén các piston (4) trở lại. Các piston (4) sẽ nén khí trong khoảng không bên dưới các piston. Không khí bị nén sẽ đóng các màng ngăn hút và lưu thông qua các lỗ khoan của piston qua các màng ngăn đường ra của cửa mở và qua các đường ra tới bên ngoài.

Quá trình này được tự động lặp lại cho tới khi không có không khí còn lại trong bơm và đường hút, nước sẽ vào trong buồng bơm.

Như vậy, bơm chữa cháy ly tâm sẽ bắt đầu bơm nước.

Vị trí không tải khi bơm nước

Ngay khi việc bơm nước đã bắt đầu, nước sẽ vào trong các kênh hút và vào trong hệ thống TROKOMAT và lưu thông qua các màng ngăn hút của cửa mở.

Nước chảy vào sẽ nâng các piston (4) khỏi cam khi lực của áp suất nước ở bên trong của piston lớn hơn lực của lò xo nén ở phía bên ngoài.

Các piston (4) bị đẩy ra phía ngoài cho tới khi các màng ngăn đường ra nằm trên mặt bịt kín của nắp xilanh, các lỗ khoan của piston bị bịt kín.

Lúc này cam trên trục bơm chạy không tải mà không tiếp xúc với cần piston. Do đó tránh được việc hoạt động không cần thiết của hệ thống TROKOMAT.

Ngừng bơm nước

Nếu quá trình bơm nước bị ngừng lại vì bất kỳ lý do nào, áp lực nước sẽ không tác động vào các piston (4) nữa.

Lúc này các lò xo nén (3) sẽ lại nén các piston (4) trở lại trục cam, quá trình hút sẽ lại tự động bắt đầu.

5.4.2. Vận hành hệ thống TROKOMAT PLUS

Thông khí bơm được thực hiện hoàn toàn tự động qua hoạt động hút tự động của hệ thống TROKOMAT của ZIEGLER.

Hệ thống TROKOMAT hút nước ngay cả với số vòng quay thấp. Hệ thống TROKOMAT sẽ ngăn chặn sự tiêu nước của khoang chứa nước, được tự động mở khi truyền động phụ trợ bật và mở các kênh hút với bơm.

Quá trình hút tối ưu đạt được với số vòng quay trung bình của động cơ.

Hệ thống TROKOMAT tự động hoạt động (có tiếng kêu giòn) và kim của đồng hồ đo quá áp/thiếu áp nằm trong phạm vi thang đo màu đỏ.

Ở áp lực nước khoảng 2-3 bar trong bơm, hệ thống TROKOMAT tự động tắt và tiếng kêu giòn dừng. Nước không phun ra từ đường ra của hệ thống TROKOMAT nữa.

Cả trong lúc hoạt động hoặc sau khi đóng tải nước thời trong thời gian ngắn, áp lực tại bơm phải đạt cao (2-3 bar), hệ thống TROKOMAT không phun nước ra.

5.5. Tính toán trục và ổ lăn^[11]

5.5.1. Chọn vật liệu, đường kính trục

Lựa chọn vật liệu chế tạo trục là thép C45 với các thông số sau:

- Ứng suất dẫn giới hạn: $[\sigma_d] = 50(MPa)$
- Ứng suất bền: $\sigma_b = 600(MPa)$

Như đã tính toán ở phần tính thủy lực ta được đường kính trục $d_{tr} = 65(mm)$.

Theo TCVN 2261-77, ta có $58 < d_{tr} \leq 65$ nên ta chọn được kích thước then:

$$\begin{cases} b = 18 \\ h = 11 \\ t_1 = 7 \\ t_2 = 4,4 \\ r = 0,25 \end{cases}$$

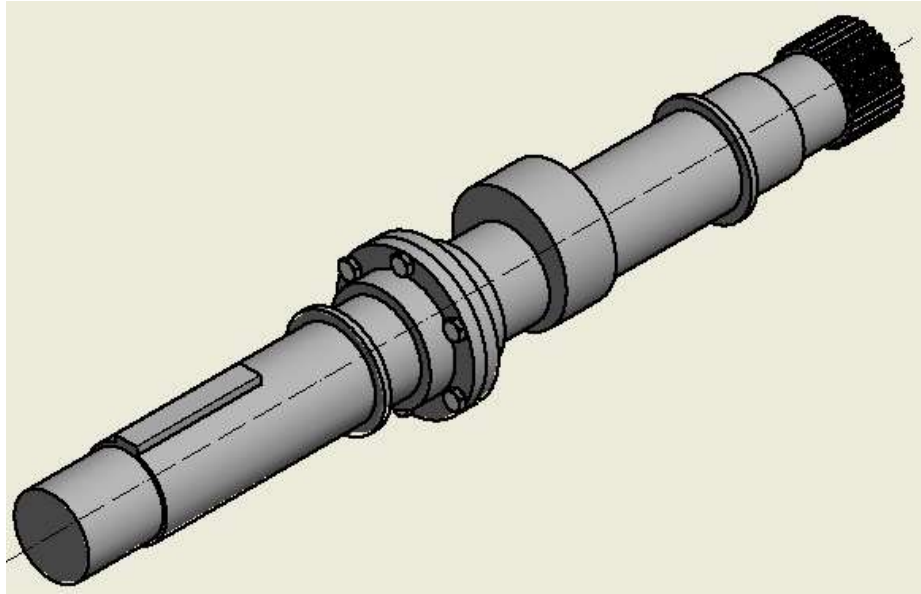
Chiều dài then được chọn theo dãy trên nên ta chọn chiều dài then $l = 100(mm)$.

5.5.2. Chọn chiều dài từ các đoạn trục

Khoảng cách từ trọng tâm bánh công tác đến ổ lăn 1: $l_{01} = 74,35(mm)$.

Khoảng cách giữa 2 ổ lăn: $l_{12} = 300(mm)$.

Khoảng cách từ ổ lăn thứ 2 đến chỗ lắp khớp nối: $l_{23} = 233,35(mm)$.



Hình 5.25. Bản vẽ 3D trục bơm ly tâm.

5.5.3. Các lực tác dụng lên trục

Bánh công tác được chế tạo bằng gang xám có khối lượng riêng $7200 \text{ (kg/m}^3\text{)}$.

Gang xám là loại vật liệu đúc phổ biến nhờ vào nhiều ưu điểm nổi bật. Dưới đây là một số ưu điểm chính của gang xám:

a. Khả năng gia công tốt

Do chứa các mảnh graphit tự do dạng tấm, gang xám có tính cắt gọt rất tốt.

Giảm mài mòn dao cụ, tiết kiệm chi phí gia công và thời gian.

b. Giá thành rẻ

Thành phần chủ yếu là sắt và carbon, dễ khai thác và chế tạo.

Quy trình đúc đơn giản, phù hợp sản xuất hàng loạt.

c. Độ giảm chấn tốt

Các tấm graphit phân bố rời rạc giúp hấp thụ rung động hiệu quả.

Thích hợp cho các chi tiết máy như thân máy tiện, máy phay, đế máy...

d. Dẫn nhiệt tốt

Dẫn nhiệt cao hơn nhiều loại kim loại đúc khác.

Phù hợp cho các bộ phận truyền nhiệt như đế nồi, vỏ động cơ, đĩa phanh...

e. Chống mài mòn tương đối

Mặc dù không cứng bằng gang cầu hay thép, nhưng nhờ có graphit bôi trơn tự nhiên nên vẫn có khả năng chống mài mòn tốt trong một số điều kiện.

f. Đúc được các chi tiết phức tạp

Gang xám có tính chảy loãng cao, dễ điền đầy khuôn.

Phù hợp với các sản phẩm có hình dạng phức tạp hoặc thành mỏng.

5.5.3. Các lực tác dụng lên trục

a. Áp suất chất lỏng ở trước lõi vào bơm

$$p_i = p_2 - \gamma \cdot \frac{U_2^2}{8g} \cdot \left(1 - \frac{R_i^2}{R_2^2}\right) \quad (5.63)$$

Trong đó:

p_2 : Áp suất chất lỏng ở lõi ra của bánh công tác với $H_{lt} = 111,1(m)$

$$p_2 = 111,1 \cdot 1000 \cdot 9,81 = 1089891(Pa)$$

γ : Trọng lượng riêng của chất lỏng làm việc, $\gamma = 9810(N / m^3)$.

R_2 : Bán kính ngoài của bánh công tác, $R_2 = 0,1725(m)$.

U_2 : Vận tốc vòng tại lõi ra bánh công tác, $U_2 = 45,85(m / s)$.

R_i : Bán kính phần trụ của bánh công tác, $R_i = 0,05(mm)$.

Thay số vào ta được:

$$p_i = 1089891 - 9810 \cdot \frac{45,85}{8 \cdot 9,81} \cdot \left(1 - \frac{0,05^2}{0,175^2}\right) = 1084627,6(Pa)$$

b. Lực hướng trục

Lực hướng trục tác dụng lên bề mặt trong của bánh công tác được xác định dựa vào phương trình động lượng áp dụng với khối chất lỏng chuyển động qua bánh công tác bằng:

$$F_{ztr} = -\frac{G}{g}(V_{z2} - V_{z1}) \quad (5.64)$$

Trong đó:

G : Lưu lượng trọng lượng của khối chất lỏng

$$G = \gamma \cdot Q_{lt} = 9810 \cdot 0,172 = 1687,32(N / s)$$

$V_{z1}; V_{z2}$: Vận tốc trung bình theo phương hướng trục của dòng chất lỏng chuyển động ở lõi vào và lõi ra bánh công tác

Biểu thức có dấu (-) có ý nghĩa lực F_{ztr} là lực của khối chất lỏng tác dụng lên bánh công tác.

Đối với bánh công tác ly tâm có lõi ra hướng kính thì $V_{z2} = 0$. Vận tốc của dòng chất lỏng ở lõi vào của bánh công tác $V_{z1} = V_o = 6,52$.

Khi đó lực hướng trục F_{ztr} có giá trị bằng:

$$F_{ztr} = \frac{\gamma \cdot Q_{lt}}{g} \cdot V_o = \frac{9810 \cdot 0,172}{9,81} \cdot 6,52 = 1121,44(N)$$

c. Lực ly tâm

Khi bánh công tác quay còn xuất hiện lực ly tâm do bánh công tác không cân bằng hoàn toàn:

$$C = 1,11 \cdot 10^{-6} \cdot G \cdot n^2 \cdot e \quad (5.65)$$

Trong đó

G : Trọng lượng bánh công tác. $G = M_{bct} \cdot g = 5,83 \cdot 9,81 = 57,19(N)$

n : Tốc độ quay của bánh công tác $n=2500(v/ph)$

e : Độ lệch tâm của bánh công tác có thể được tra qua bảng sau^[1]:

Bảng 5.8. Độ lệch tâm của bánh công tác

D_2 (mm)	Đến 300	300-500	500-1000	1000-2000
e (mm)	0,075	0,1	0,15	0,2

Với $D_2 = 345(mm)$, độ lệch tâm của bánh công tác $e = 0,1$.

Thay số ta được:

$$C = 1,11 \cdot 10^{-6} \cdot G \cdot n^2 \cdot e = 1,11 \cdot 10^{-6} \cdot 57,19 \cdot 2500^2 \cdot 0,1 = 39,67 (N)$$

d. Lực tại khớp nối

$$F_{kn} = k \cdot \frac{2T}{D_o} \quad (5.66)$$

Trong đó: $k = 0,2 \div 0,3$. Chọn $k = 0,2$.

Momen xoắn trên trục bơm do động cơ gây lên:

$$T = 9,55 \cdot 10^6 \cdot \frac{P_{dc}}{n_{dc}} = 9,55 \cdot 10^6 \cdot \frac{425}{1800} = 2254861(Nmm) = 2254,86(Nm) \quad (5.67)$$

Cần trục đường kính tối thiểu khoảng 55 mm để truyền được mô-men xoắn này một cách an toàn (với hệ số an toàn trung bình).

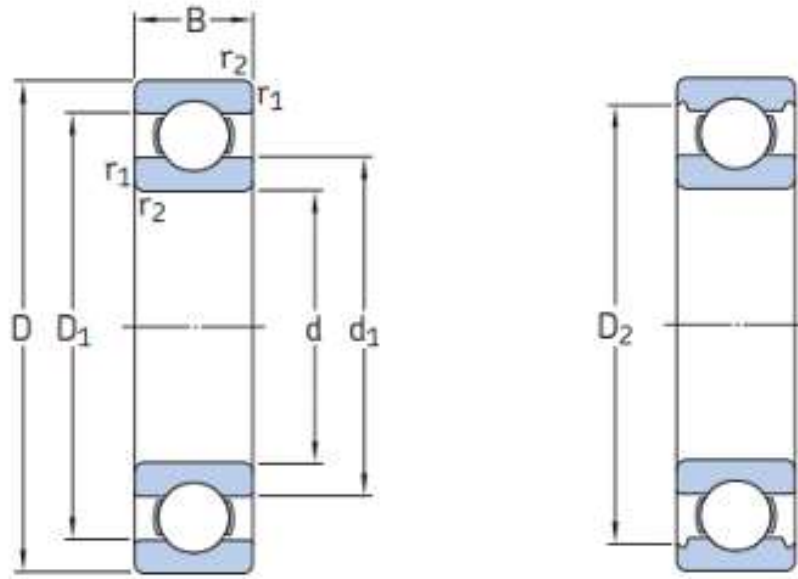
Đường kính trục đã lựa chọn $d_{tr} = 65(mm)$ đáp ứng được điều kiện an toàn.

5.5.4. Tính chọn ổ lăn**a. Chọn ổ lăn**

Dựa vào đường kính đoạn trục lắp ổ lăn, tốc độ làm việc của ổ lăn ta chọn loại ổ bi đỡ 1 dãy theo tài liệu của hãng SKF có mã 6013C3.

Các thông số ổ bi 6013C3 như sau:

- Đường kính trong $d = 65$ (mm)
- Đường kính ngoài $D = 100$ (mm)
- Chiều rộng ổ $b = 18$ (mm)
- Khả năng tải tĩnh $C_0 = 25$ (kN)
- Khả năng tải động $C = 31,9$ (kN).



Hình 5.26. Các kích thước cơ bản của ổ lăn.

b. Kiểm nghiệm khả năng tải động của ổ lăn

Khả năng tải động được tính theo công thức:

$$C = Q \cdot \sqrt[m]{L} < [C] \quad (5.68)$$

Trong đó:

m: Bậc của đường cong mỗi

L tuổi thọ của ổ lăn.

$$L = \frac{60 \cdot n \cdot L_h}{10^6} = \frac{60 \cdot 2500 \cdot 12000}{10^6} = 1800 \text{ (triệu vòng)} \quad (5.69)$$

Tải trọng quy ước tác dụng vào ổ lăn

$$Q = (X \cdot V \cdot F_r + Y \cdot F_{ztr}) \cdot k_t \cdot k_d \quad (5.70)$$

Trong đó:

F_r : tải trọng hướng tâm

F_{ztr} : lực hướng trục

V : hệ số khi vòng trong quay

k_t : hệ số ảnh hưởng bởi nhiệt độ

k_d : hệ số đặc tính tải trọng

X : hệ số tải trọng hướng tâm

Y : hệ số tải trọng dọc trục

Giả sử các phản lực ngang và lực hướng tâm rất nhỏ so với lực hướng trục nên bỏ qua các phản lực ngang và lực hướng tâm. Do đó, tải trọng tác dụng lên ổ bi theo công thức sau:

$$Q = Y.F_{ztr}.k_t.k_d = 1.1121,44.1.1 = 1121,44 \text{ (N)}$$

$$C = Q.\sqrt[m]{L} = 1121,44.\sqrt[3]{1800} = 13640 \text{ (N)}$$

So sánh: $C < [C]$ ($13640 \text{ N} < 31900 \text{ N}$)

Kết luận: Thỏa mãn yêu cầu tải động.

c. Kiểm nghiệm khả năng tải tĩnh của ổ lăn

Điều kiện đảm bảo khả năng tải tĩnh của ổ lăn:

$$Q_t < C_o$$

Vì bỏ qua thành phần lực hướng tâm và phản lực ngang ta có:

$$Q = Y_o.F_a = 0,5.1121,41 = 560,705 \text{ (N)} \quad (5.71)$$

So sánh: $Q < C_o$ ($560,705 \text{ N} < 25000 \text{ N}$)

Vậy ổ bi đỡ đảm bảo khả năng tải tĩnh.

Kết luận: Như vậy ta sử dụng 2 ổ bi đỡ dãy 6013C3 để đảm bảo khả năng làm việc của bơm.

5.6. Tính toán thiết kế bơm dung dịch tạo bọt^[11]

5.6.1. Nhiệm vụ, cấu tạo và nguyên lý hoạt động

a. Nhiệm vụ



Hình 5.27. Bơm bánh răng ăn khớp trong tham khảo.

Bơm dung dịch tạo bọt (foam concentrate pump) là thiết bị chuyên dụng để cấp và định lượng chính xác dung dịch tạo bọt (foam concentrate) từ bồn chứa vào hệ thống trộn với nước (foam proportioner) trong hệ thống chữa cháy bằng bọt.

Hút dung dịch tạo bọt từ bồn chứa:

- Thường là các loại dung dịch tạo bọt AFFF, AR-AFFF, protein hoặc fluoroprotein...
- Bơm phải hoạt động ổn định và không làm hỏng đặc tính hóa học của dung dịch.

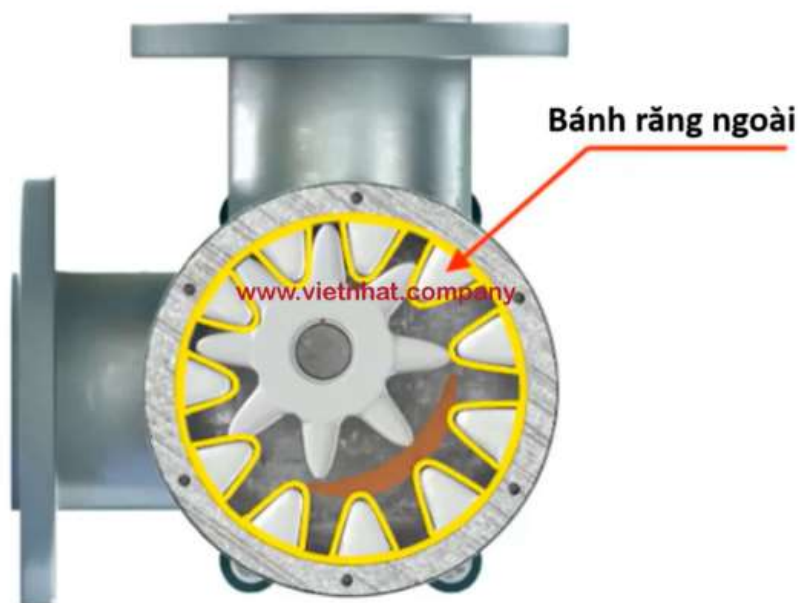
Cấp áp để đưa dung dịch vào thiết bị trộn (proportioner): Đảm bảo áp suất và lưu lượng chính xác, thường theo tỷ lệ định trước (1%, 3%, 6%) so với lượng nước.

Ổn định và liên tục cấp dung dịch khi hệ thống chữa cháy hoạt động: Không được xảy ra hiện tượng gián đoạn, hút lưu lượng hoặc giảm áp, tránh ảnh hưởng hiệu quả tạo bọt.

Chịu được hóa chất và môi trường ăn mòn: Do dung dịch tạo bọt có tính ăn mòn nhẹ nên bơm cần làm từ vật liệu chống ăn mòn như thép không gỉ, hợp kim nhôm, nhựa kỹ thuật...

b. Cấu tạo

Các bộ phận cơ bản của bơm bánh răng ăn khớp trong bao gồm:



Hình 5.28. Bánh răng chủ động (màu vàng)

- Bánh răng chủ động: Bánh răng chủ động có kích thước lớn nằm sát vỏ bơm và ôm trọn bánh răng bị động, bánh răng chủ động thường làm bằng vật liệu thép nung không rỉ chịu áp lực tốt.
- Bánh răng bị động: Có kích thước nhỏ, số lượng bánh răng thường ít hơn bánh răng chủ động và nằm trọn trong lòng bánh răng chủ động khi hoạt động. Bánh răng bị động nằm sát trục bơm hơn và cũng có vật liệu bền như bánh răng chủ động.

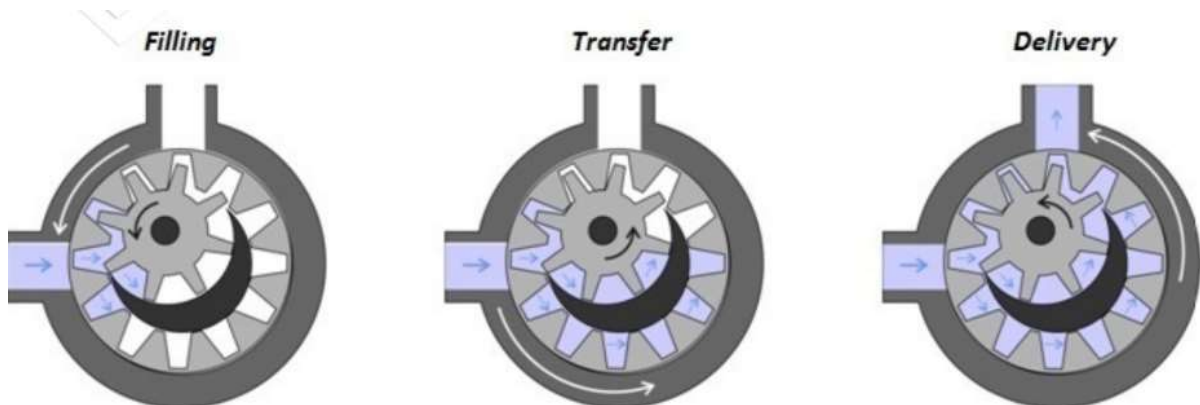


Hình 5.29. Bánh răng bị động.

- Trục bơm hay còn gọi là trục xoay hay trục khuỷu: Trục bơm là bộ phận tạo nên chuyển động trong cấu tạo bơm bánh răng ăn khớp trong với cấu tạo trục dạng xoắn. Trong cấu tạo bơm bánh răng ăn khớp trong chỉ có một trục bơm dành cho cả hai bánh răng xoay quanh trục.
- Van bơm được lắp đặt an toàn cho máy bơm bánh răng ăn khớp trong nhằm bảo vệ bơm khỏi các hư hỏng khi lưu lượng bơm tại cổng xả quá cao, lưu lượng bơm quá lớn hoặc các yếu tố ngoại cảnh tác động.

c. Nguyên lý hoạt động

Có ba giai đoạn trong chu trình làm việc của máy bơm bánh răng bên trong: làm đầy, chuyển và phân phối.



Hình 5.30. Nguyên lý bơm bánh răng ăn khớp trong.

Khi các bánh răng thoát ra khỏi lưới ở phía đầu vào của máy bơm, chúng tạo ra một thể tích mở rộng. Chất lỏng chảy vào các khoang và bị giữ lại bởi các răng bánh răng khi các bánh răng tiếp tục quay so với vỏ máy bơm và vách ngăn. Chất lỏng bị mắc kẹt được di chuyển từ đầu vào, đến ống xả qua xung quanh vỏ.

Khi các răng của bánh răng ăn khớp với nhau ở phía xả của máy bơm, thể tích sẽ giảm và chất lỏng bị ép ra ngoài dưới áp suất.

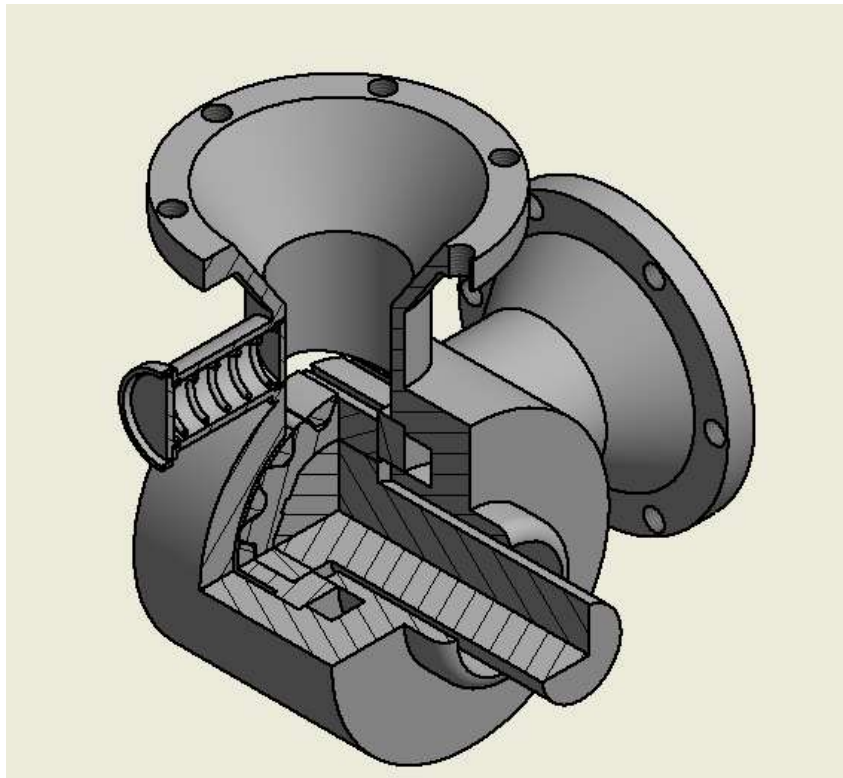
Dung sai gần nhau giữa các bánh răng và vỏ cho phép máy bơm tạo ra lực hút ở đầu vào và ngăn chất lỏng rò rỉ trở lại từ phía xả (mặc dù khả năng rò rỉ xảy ra nhiều hơn với chất lỏng có độ nhớt thấp).

5.6.2. Lựa chọn bơm tham khảo

Theo cấu trúc chữa cháy cần bơm tỉ lệ nước/bọt là 2500/6500 (lít) và từ thông tin về hệ thống chia bọt PROFOMAT ta có được các thông tin sau:

- Có thể điều chỉnh tỷ lệ trộn foam tùy ý bằng tay hoặc điều khiển từ xa.
- Bọt cô đặc được bơm cưỡng bức từ thùng chứa qua van điều chỉnh áp và vào thiết bị chia tỷ lệ.
- Áp lực của bơm bọt phải cao hơn áp lực nước ít nhất 2 bar để đảm bảo dòng bọt được hút đúng qua thiết bị chia tỷ lệ.
- Tỷ lệ trộn được cài đặt trước và ổn định.
- Lưu lượng của bơm bọt $Q=300$ (l/ph).

Từ những điều kiện trên lựa chọn mẫu bơm tham khảo là Vikings 123C^[57].



Hình 5.31. Vikings pump 123C.

Thông số cơ bản của bơm Vikings 123C:

- Lưu lượng: $Q_b = 300$ (lít/phút)
- Số vòng quay: $n = 780$ (vòng/phút)
- Áp suất làm việc tối đa $p_N = 14$ (bar)
- Công suất đầu vào lớn nhất $p = 7,5$ (kW).

5.6.3. Lựa chọn máy phát điện cho bơm dung dịch tạo bọt

a. Lựa chọn phương án khởi động và máy phát điện

Bơm dung dịch tạo bọt thường yêu cầu công suất lớn hơn khi khởi động. Lựa chọn phương án khởi động cho bơm dung dịch tạo bọt:

Bảng 5.9. Các phương án khởi động máy phát

	Khởi động trực tiếp (DOL)	Khởi động mềm (Soft starter)
Hệ số khởi động	2-3 lần công suất định mức (Cần máy phát điện có công suất 15-22,5 kW để khởi động bơm có công suất 7,5 kW).	1,2-1,5 lần công suất định mức (Cần máy phát điện có công suất 9-11,25 kW để khởi động bơm có công suất 7,5 kW).
Ưu điểm	-Chi phí thiết bị rẻ chỉ cần contactor và bảo vệ nhiệt. -Đóng điện trực tiếp vào động cơ nên thời gian khởi động ngắn. -Cấu tạo đơn giản, dễ thay thế, sửa chữa.	-Giúp máy phát nhỏ hơn vẫn khởi động tải ổn định. -Êm ái, giảm sóc, tăng tuổi thọ thiết bị. -Giảm áp lực lên máy phát điện và lưới điện. -Có thể điều chỉnh được momen khởi động.
Nhược điểm	-Gây sụt áp mạnh, dao động điện áp. -Dễ gây sóc cơ học, mòn nhanh các chi tiết cơ khí. -Dễ gây quá tải khi khởi động, cần máy phát công suất lớn..	-Cần cài đặt thông số (thời gian khởi động, dòng, điện áp...). -Chi phí cao hơn (do cần bộ khởi động mềm, điều khiển điện tử). -Tăng điện áp dần dần từ 0 đến 100% khiến cho thời gian khởi động lâu hơn.

Do nhu cầu cần sử dụng máy phát điện cỡ nhỏ để tiết kiệm không gian và giảm tải trọng phía sau nên lựa chọn phương án khởi động mềm để khởi động bơm bọt.

Lựa chọn máy phát điện Genlytec DG12000E – 10 kW để dẫn động bơm bọt:

- Công suất định mức: 10 kW (Phù hợp với yêu cầu công suất của khởi động mềm).
- Nhiên liệu: DIESEL.
- Kích thước: 885 x 655 x 890 mm.
- Trọng lượng: 200 kg.
- Tính năng: Thiết kế mở, dễ bảo trì, có bánh xe di chuyển.



Hình 5.32. Máy phát điện Genlytec DG12000E.

5.6.4. Thông số dung dịch tạo bọt^[14]

AFFF (Aqueous Film Forming Foam) là dung dịch tạo bọt chữa cháy có khả năng hình thành một màng nước mỏng (aqueous film) giúp ngăn hơi xăng/dầu bốc lên và cách ly oxy - dập tắt lửa hiệu quả trên các đám cháy chất lỏng dễ cháy (Class B) như xăng, dầu, dung môi.

Dung dịch cô đặc AFFF (concentrate) thường gồm:

- Chất hoạt động bề mặt (surfactants): tạo bọt và màng nước.
- Fluorosurfactants: tăng khả năng trải màng mỏng.
- Dung môi hữu cơ (glycols): giúp hòa tan chất hoạt động bề mặt.
- Chất tạo bọt (foam stabilizers).
- Nước: là dung môi chính.

Bảng 5.10. Thông số dung dịch tạo bọt

Tính chất	Giá trị tham khảo
Màu sắc	Vàng nhạt đến trong suốt
Khối lượng riêng (cô đặc)	$\square 1,00 - 1,03(g / cm^3)$
Tỷ nhiệt (cô đặc)	$\square 3,5 - 4,0(kJ / kg.K)$
pH	6,5 – 8,5
Độ nhớt	Thấp
Điểm đóng băng	$-5^{\circ}C$ đến $-15^{\circ}C$
Thời gian tạo bọt	<30 giây

5.6.5. Tính toán thiết kế bơm bọt^[11]

Dựa trên “Giáo trình máy bơm và trạm bơm”^[9] của GS.Nguyễn Văn Hiệu do Nhà xuất bản Hà Nội xuất bản năm 2007

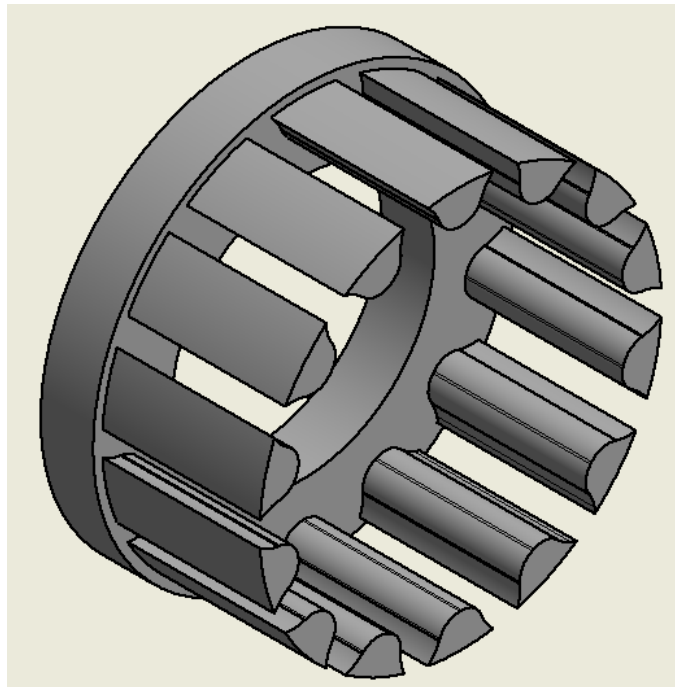
Thông số tham khảo:

- m : Mô đun của bánh răng: $m=4,5(mm) = 0,0045(m)$
- Số răng bánh răng bị động $Z_1 = 13$ (Dựa vào catalog).
- Số răng bánh răng chủ động $Z_2 = 14$ (Dựa vào catalog)
- D_o : Đường kính vòng cơ sở của bánh răng, $D_o = m.Z = 56(mm)$ (5.72)

- μ_b : tốc độ vòng cho phép của bơm, ta chọn $\mu_b = 9$ (m/s)
- D : Đường kính ngoài của bánh răng, $D = m.(Z + 2) = 72$ (mm) (5.73)

Xác định kích thước bánh răng chủ động:

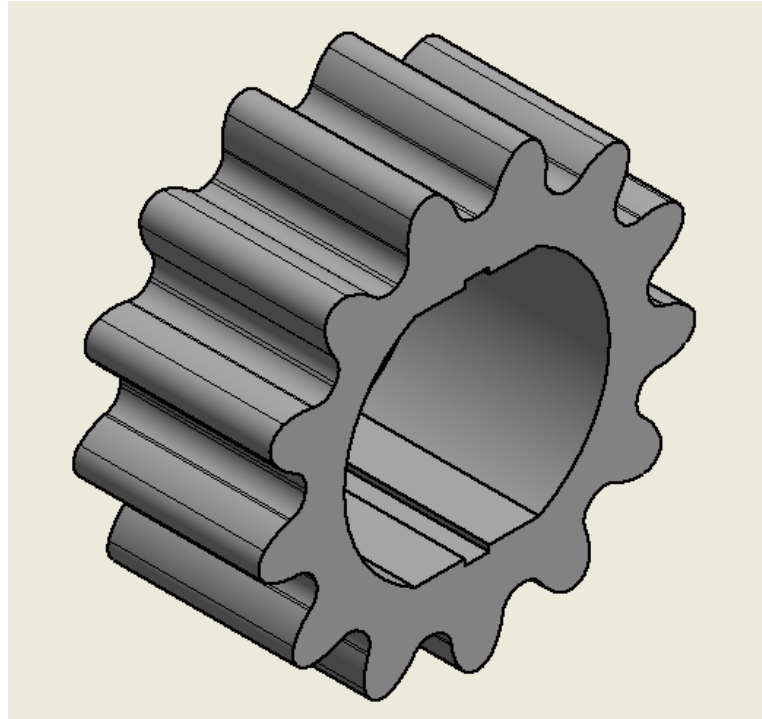
- Đường kính vòng tròn lăn: $D_{o2} = m.Z_2 = 4,5.14 = 63,5(mm)$
- Đường kính vòng đỉnh răng: $D_{e2} = m.(Z_2 + 2) = 4,5.(14 + 2) = 80(mm)$
- Chiều cao răng: $h_1 = m = 4,5(mm)$
- Đường kính chân răng: $D_{c2} = D_{e2} - 2h_1 = 80 - 2.4,5 = 72(mm)$ (5.74)



Hình 5.33. Bánh răng chủ động.

Xác định kích thước bánh răng bị động:

- Đường kính vòng tròn lăn: $D_{o1} = m.Z_1 = 4,5.13 = 56(mm)$
- Đường kính vòng đỉnh răng: $D_{e1} = m.(Z_1 + 2) = 4,5.(13 + 2) = 72(mm)$
- Chiều cao răng: $h_1 = m = 4,5(mm)$
- Đường kính chân răng: $D_{c2} = D_{e2} - 2h_1 = 72 - 2.4,5 = 56(mm)$



Hình 5.34 Bánh răng bị động.

Giá trị thể tích làm việc:

$$V_o' = \frac{Q_b}{n_b} = \frac{300 \cdot 10^3}{780} = 384,61(\text{cm}^3) \quad (5.75)$$

Chọn giá trị hiệu suất thể tích và hiệu suất toàn phần:

$$\eta_o = 0,85; \eta = 0,7$$

Lưu lượng lý tưởng và thể tích công tác của bơm:

$$Q_{bo} = \frac{Q_b}{\eta_o} = \frac{300}{0,85} = 352(\text{l / ph}) \quad (5.76)$$

$$V_o = \frac{Q_{bo}}{n} = \frac{352 \cdot 10^3}{780} = 451(\text{cm}^3) \quad (5.77)$$

5.6.6. Chọn vật liệu thiết kế bơm dung dịch tạo bọt

Yêu cầu thiết kế:

- Chống mài mòn khi làm việc liên tục.
- Chống ăn mòn vì làm việc thường xuyên với dung dịch có tính ăn mòn cao.
- Đảm bảo chịu được áp suất của bơm (14 bar).
- Đảm bảo khả năng gia công chính xác để đảm bảo khe hở nhỏ và hiệu suất cao.

a. Chọn vật liệu cho bánh răng bị động và bánh răng chủ động

Bảng 5.11. Bảng vật liệu bánh răng

Bánh răng chủ động	Bánh răng bị động	Đặc điểm
Thép tôi 20MnCr5	Thép tôi 20MnCr5	- Cùng vật liệu nên có độ giãn nở nhiệt giống nhau, giảm nguy cơ kẹt bánh răng khi nhiệt độ tăng. - Cùng độ cứng, giúp mài mòn đồng đều, tăng tuổi thọ. - Phù hợp cho tải cao, vận hành liên tục.
Thép tôi SCM415	Gang cầu	- SCM415 có độ bền cao, chịu tải tốt; gang cầu giúp giảm chi phí mà vẫn đủ độ cứng. - Gang cầu dễ gia công hơn, nhẹ hơn thép. - Giải pháp cân bằng giữa hiệu suất và chi phí.
Thép không gỉ	Đồng thau	- Chống ăn mòn tốt, thích hợp khi dùng dung dịch tạo bọt có tính ăn mòn nhẹ hoặc chứa fluorine. - Đồng hoặc nhôm giảm tiếng ồn, nhẹ tải, không cần bôi trơn nhiều. - Phù hợp cho môi trường khô khốc hoặc yêu cầu tiếng ồn thấp.

Dựa trên các yêu cầu thiết kế đã nêu trên lựa chọn phương án thiết kế vật liệu thép không gỉ (bánh răng chủ động) và đồng thau (bánh răng bị động).

b. Chọn vật liệu vỏ bơm

Bảng 5.12. Bảng vật liệu vỏ bơm

Vật liệu	Ưu điểm	Hạn chế	Ứng dụng
Thép không gỉ	- Chống ăn mòn cao (nước biển, AFFF, hóa chất nhẹ) - Chịu áp cao tốt	-Giá thành cao, nặng hơn	-Môi trường ăn mòn mạnh, yêu cầu độ bền cao
Nhôm hợp kim	- Nhẹ, dễ đúc và gia công - Chống ăn mòn tốt nếu anod hóa hoặc phủ	-Chịu áp thấp hơn, dễ biến dạng nếu đúc mỏng	-Môi trường yêu cầu trọng lượng nhẹ, chịu áp thấp

Dựa trên các yêu cầu thiết kế đã nêu trên lựa chọn phương án thiết kế vật liệu thép không gỉ để thiết kế vỏ bơm.

5.6.7 Tiêu chuẩn quốc gia bơm dung dịch tạo bọt^[7]

Theo TCVN 13316-3:2022, bơm chất tạo bọt của thiết bị trộn chất tạo bọt áp suất dương phải đảm bảo yêu cầu sau:

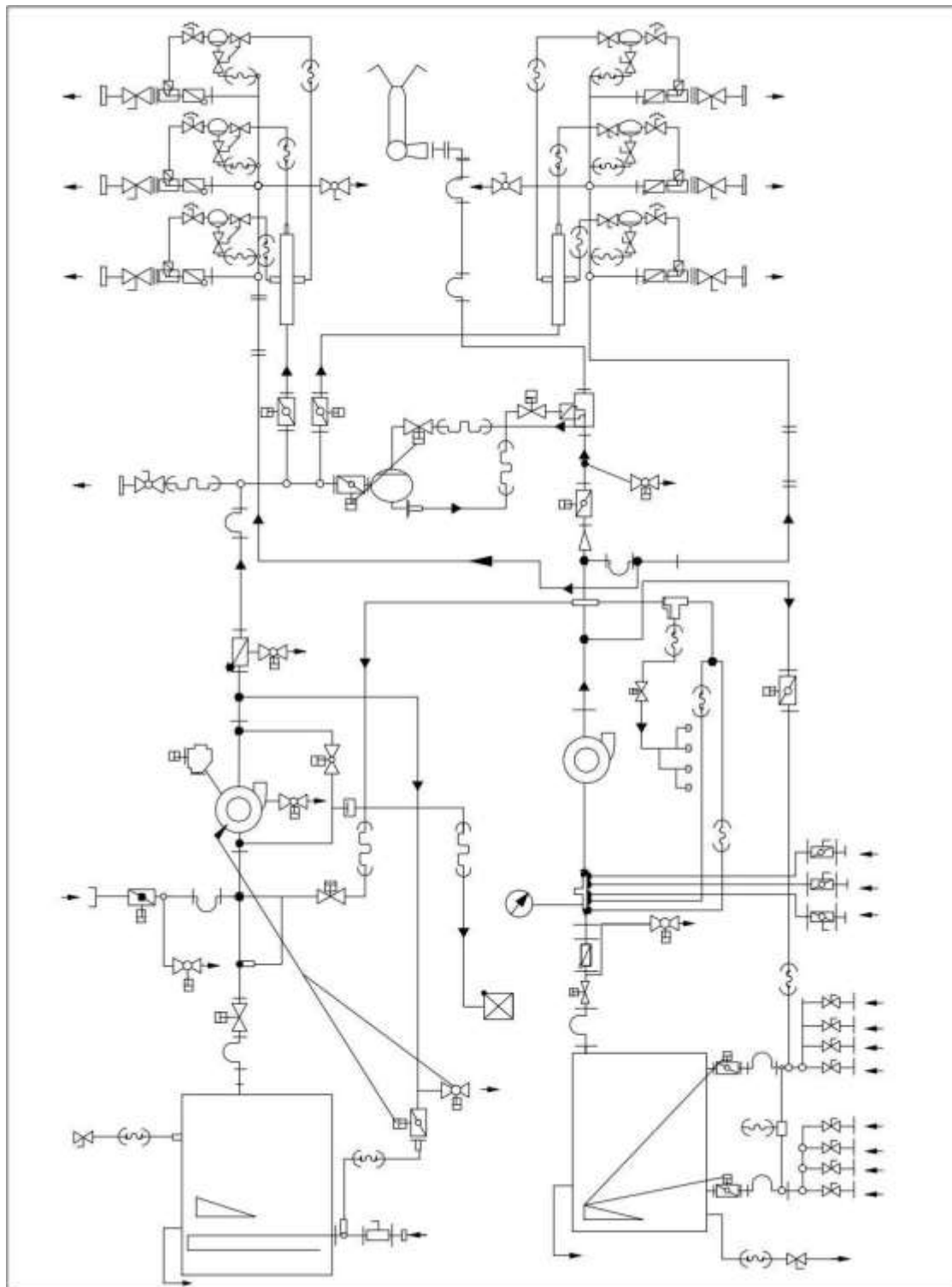
- Bơm chất tạo bọt chữa cháy phải đảm bảo độ kín tốt.
- Trục của bơm chất tạo bọt chữa cháy phải sử dụng được trong điều kiện môi trường chất tạo bọt, có tính chống ăn mòn. Trục của bơm chất tạo bọt phải là vật liệu thép không gỉ hoặc vật liệu tương đương mang tính chống ăn mòn.
- Bơm chất tạo bọt chữa cháy phải bảo đảm vận hành không tải liên tục ít nhất 10 min, mà không xuất hiện hư hỏng.

Bơm chất tạo bọt chữa cháy phải đảm bảo vận hành bơm chất tạo bọt liên tục trong 1h và phải đảm bảo yêu cầu sau:

- Áp suất làm việc của bơm không thấp hơn áp suất quy định, lưu lượng phải phù hợp yêu cầu lưu lượng quy định.
- Nhiệt độ bên ngoài vỏ bơm không vượt quá 750 C°.
- Trên trục của bơm tại các thiết bị làm kín phải đảm bảo độ kín tốt, không có hiện tượng rò rỉ. Đối với thiết bị làm kín phải cho phép điều chỉnh được.
- Bơm chất tạo bọt chữa cháy khi chạy phải êm, không có hiện tượng rung lắc mạnh.
- Khu vực đầu ra bơm chất tạo bọt chữa cháy phải lắp đặt van an toàn.
- Bơm chất tạo bọt chữa cháy phải được tiến hành thử nghiệm độ kín, thử nghiệm thân bơm và các linh kiện không bị thấm, dò rỉ, mờ hôi và các hư hỏng khác.
- Bơm phải được tiến hành thử nghiệm cường độ áp suất thủy tĩnh tại trong quá trình thử nghiệm vỏ bơm không có ảnh hưởng đến tính năng của bơm, biến dạng, vết rạn và các hư hỏng khác.
- Nguồn động lực và thiết bị truyền động của bơm chất tạo bọt phải đảm bảo hoạt động bình thường.
- Khi lượng chất tạo bọt còn lại trong xi téc chất tạo bọt từ 4% đến 6% dung tích danh định bơm chất tạo bọt có thể tự động dừng.

Chương 6: THIẾT KẾ HỆ THỐNG ĐƯỜNG ỐNG VÀ LĂNG PHUN

6.1. Tổng quan về hệ thống đường ống và lăng phun



Hình 6.1. Sơ đồ nguyên lý của hệ thống đường ống nước/bột trên xe cứu hỏa.

Hệ thống phun bọt chữa cháy đóng vai trò quan trọng trong việc kiểm soát và dập tắt các đám cháy, đặc biệt là các đám cháy chất lỏng không hòa tan trong nước. Trong hệ thống này, đường ống và lăng phun là hai thành phần chính, đảm bảo việc vận chuyển và phun bọt chữa cháy hiệu quả.

6.1.1. Lăng phun

Vòi phun còn có tên gọi khác là lăng (lance). Có hai loại vòi phun, đó là lăng tay và lăng giá. Lăng tay được gắn vào đầu ống dẫn nước và phun nước vào đám cháy, cầm tay và điều chỉnh bằng tay.

Hệ thống bọt chữa cháy được thiết kế để cải thiện khả năng dập lửa của nước. Bọt hoạt động như một tác nhân làm mát và phủ, và có thể được tạo ra bằng cách thêm chất cô đặc bọt vào nước trên xe cứu hỏa.

Hệ thống bọt cho phép trộn một lượng bọt được xác định trước với nước thông qua cơ chế bơm của thiết bị chữa cháy. Do đó, bất cứ khi nào sử dụng nước, hệ thống bọt có thể được kích hoạt để cải thiện hiệu quả chữa cháy của nước.

Có hai loại bọt chữa cháy mà đội cứu hỏa có thể lựa chọn dựa trên loại cuộc gọi mà họ phải đối mặt:

- Bọt loại 'A' được sử dụng cho các đám cháy loại 'A', bao gồm các chất dễ cháy rắn như giấy, gỗ, vải và một số loại nhựa.
- Bọt loại 'B' được sử dụng cho các đám cháy loại 'B', là các đám cháy liên quan đến chất lỏng dễ cháy như cồn, ete, dầu, xăng hoặc mỡ.

❖ Yêu cầu kỹ thuật

Lăng giá chữa cháy phải được tiến hành thử nghiệm tầm phun xa tia nước đặc tại Điều 5.4.5.1, vị trí rơi gần nhất của các tia nước (tầm phun xa) phải lớn hơn hoặc bằng 45 m.

Lăng giá chữa cháy lắp đặt trên nóc xe chữa cháy phải có góc nghiêng xuống không nhỏ hơn 70°, có góc quay ở mặt phẳng nằm ngang 360°, có cơ cấu khóa và giá đỡ.

Đường ống dẫn nước vào lăng giá chữa cháy trên nóc xe chữa cháy phải có van điều khiển việc đóng, mở.

Lăng giá chữa cháy phía trước xe chữa cháy phải có cơ cấu khóa, cơ cấu khóa có đầy đủ tính năng khóa khi đang phun chữa cháy ở góc quay bất kỳ hoặc lên, xuống. Lăng chữa cháy phải cố định chắc chắn khi xe chữa cháy đang chạy.

Khi lăng giá chữa cháy điều khiển từ xa, tín hiệu điều khiển từ xa của lăng chữa cháy không được gây nhiễu hệ thống thông tin và hệ thống điều khiển khác của xe chữa cháy.

Vòi phun loại lăng giá được lắp cố định trên thân xe, nó có tính cơ động cao vì nó có chức năng quay (xoay) theo vị trí mà ta mong muốn.

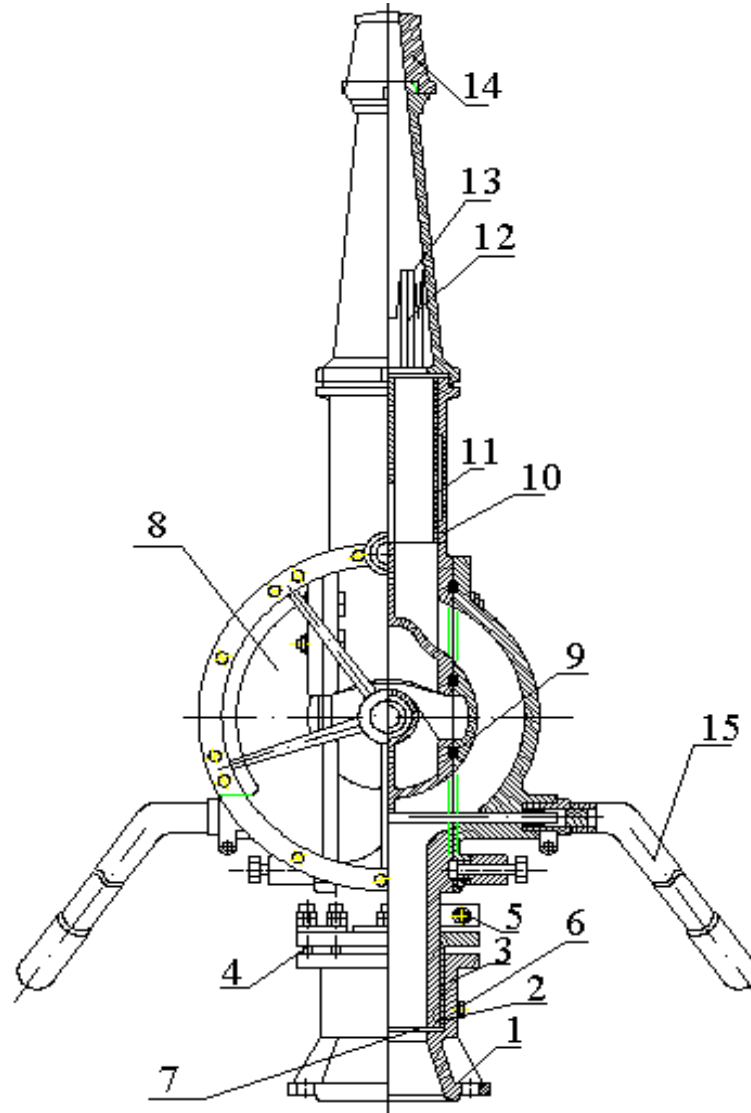
Có thể phân loại vòi phun theo nhóm:

- Nhóm 1: Những vòi phun có tia phun xa.
- Nhóm 2: Vòi phun tạo lớp phủ dập bằng nước.
- Nhóm 3: Loại vòi phun có cả hai tính năng trên.
- Nhóm 4: Loại vòi phun tổ hợp, có tia phun đông đặc dập tắt.

Đặc biệt đối với vòi phun giá (lăng giá) cần phải đảm bảo những yêu cầu sau:

- Tia nước phun phải xa.
- Điều khiển được nhẹ nhàng và điều khiển quay được cả trong hai mặt phẳng.
- Kết cấu đơn giản, thuận tiện khi sử dụng.
- Kích thước và trọng lượng nhỏ.
- Có đặc tính làm việc tốt.

Dưới đây là sơ đồ kết cấu của lăng giá:



Hình 6.2. Kết cấu lăng phun

1-Thân lăng giá, 2-Đầu nối động, 3-Đệm, 4-Ghi đông, 5-Đai kẹp, 6-Đầu nối, 7-Chốt, 8-Ống thông, 9-Vành làm kín, 10-Vỏ ống, 11-Vòi phun tia, 12-Đầu nối côn, 13-Miệng phun, 14-Vòi phun, 15-Tay cầm.

Phần mặt bích được đúc liền với phần thân (1), đường kính lưu thông là 100 mm, đường kính toàn mặt bích là 205 mm, thân chính được lắp chặt vào sàn thông qua bu lông. Lăng có thể quay quanh trục đứng nhờ đầu nối động (2). Bộ phận quay vòng này được làm kín bằng các đệm (3). Có thể tháo-lắp bộ phận quay thông qua gui đông (4) và đai kẹp (5).

Đầu nổi (vòng) (6) nối răng với chạc ba (2), được hãm bằng vít qua bốn chốt (7). Chốt (7) được vặn vào thân lăng giá và giữ không cho lăng giá dịch chuyển dọc trục

Chạc ba nối di động với phần ống bên phải và bên trái. Chạc ba liên kết động ống dẫn bên phải và bên trái (8) nhờ vành làm kín (9), để giảm ma sát vòng này, người ta cho mỡ chì vào để bôi trơn. Ống bên phải và bên trái được nối cứng với phần vỏ (10) thông qua các đệm cao su.

Phần vỏ (10) có dạng trụ trong đó lắp vòi phun tia (11), vòi phun có dạng chữ thập để cắt dòng nước thành bốn phần. Phần trụ này cũng nối răng với đầu nổi côn (12), trong đầu nổi côn lắp miệng phun (13).

Miệng phun này chia dòng nước thành bảy dòng tia phun. Đầu vòi phun (14) có thể tháo ra lắp vào. Đầu vòi (14) có nhiều cỡ có đường kính lỗ trong khác nhau: 32 mm, 36 mm, 40 mm.

Quay ngang lăng giá 360° nhờ hai tay cầm (15), quay trong mặt phẳng thẳng đứng. Khi quay trong mặt phẳng thẳng đứng, cơ cấu có thể nghiêng trên được 75° và nghiêng xuống được 22°. Trọng lượng của lăng giá này 95 kg.

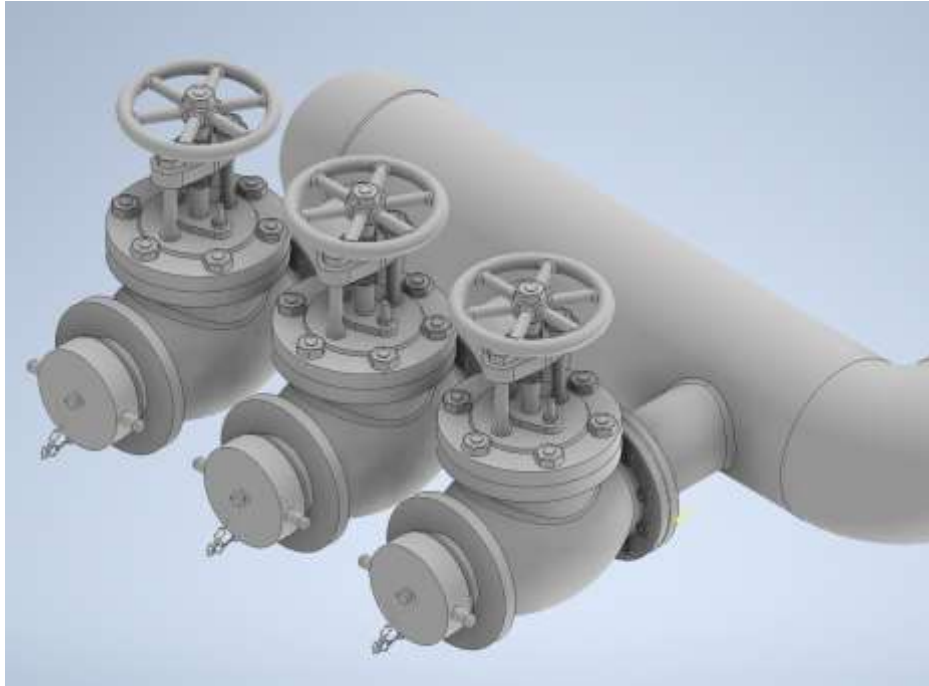
Lăng giá này được dùng khi cần dập tắt đám cháy lớn trong điều kiện khi mà các vòi phun cầm tay bị vô hiệu hóa. Khi phun, lăng này tạo ra phản lực lớn vì công suất của vòi lớn vì vậy giữ lăng rất khó nên nó được giữ ở vị trí cố định nhưng nó lại có tính cơ động rất cao.

6.1.2. Đường ống

Téc nước và téc bọt: Xe chữa cháy trang bị hai bồn chứa chính: một bồn nước ~2.500 lít và một bồn chất tạo bọt ~6.500 lít, cả hai làm bằng vật liệu composite sợi thủy tinh có gia cố. Bồn nước có cửa kiểm tra Ø500 mm trên nóc xe và các vách ngăn chống sóng có thể tháo rời, trong khi bồn bọt cũng có cửa kiểm tra tương tự để thuận tiện cho bảo dưỡng. Mỗi bồn đều trang bị cảm biến điện tử hiển thị mức chất lỏng hiện tại trên bảng điều khiển, giúp người vận hành theo dõi lượng nước và foam còn lại một cách chính xác.

Hệ thống hút (cấp nước/foam vào bơm): Xe có cấu hình hút nước đa dạng nhằm tăng khả năng lấy nước từ nhiều nguồn:

- Hút từ bồn nước chính: một đường ống hút cỡ DN250 kết nối từ đáy xi téc nước tới bơm, tích hợp van một chiều chống chảy ngược và van khóa đóng/mở điều khiển từ xa để cô lập bồn nước khi cần.
- Hút từ nguồn nước bên ngoài: xe có các cửa hút lớn đạt chuẩn NFPA^[36] (3 cửa hút đường kính 5") để kết nối với nguồn nước ngoài (hồ, bể, trụ nước chữa cháy) và các cửa nạp bổ sung (8 cửa hút BSS 2,5", chia đều mỗi bên thân xe 4 cửa) phục vụ bơm tiếp nước từ trụ hydrant vào hệ thống. Nhiều cửa hút cho phép xe tiếp nhận lưu lượng lớn nước cùng lúc (ví dụ, đầu nối nhiều đường ống cấp từ hydrant) nhằm nhanh chóng làm đầy bồn nước hoặc cung cấp trực tiếp cho bơm.



Hình 6.3. Cửa hút nước từ bên ngoài đến bơm.

- Hút chất tạo bọt: téc bọt có một kết nối hút kích cỡ DN80 (khớp nối BSS 2,5") để lấy chất tạo bọt từ thùng chứa bên ngoài hoặc bồn dự phòng, van này cũng được điều khiển đóng/mở từ xa để đảm bảo an toàn và thuận tiện. Hệ thống mỗi bơm của xe là loại tự động TROKOMAT Plus do Ziegler thiết kế, bao gồm các piston hút khí tích hợp quanh thân bơm ly tâm. Khi vận hành hút nước từ nguồn thấp (hút sâu), TROKOMAT tự động đẩy không khí ra khỏi buồng bơm và đường ống hút, giúp nhanh chóng tạo chân không để nước dâng vào bơm. Nhờ đó, bơm ly tâm có thể tự mồi rất hiệu quả mà không cần thao tác thủ công, rút ngắn thời gian hút nước và tránh hiện tượng “tụt nước” trong buồng bơm khi mồi.

Sau khi sử dụng foam, xe có hệ thống súc rửa tích hợp: chỉ cần bật nút “phun rửa”, nước sạch từ bồn sẽ chảy qua các đường ống foam để rửa sạch cặn bọt, van một chiều đặc biệt sẽ ngăn nước rửa này chảy ngược vào bồn foam. Quy trình trộn và súc rửa foam này giúp bảo vệ bơm và đường ống khỏi đóng cặn, kéo dài tuổi thọ thiết bị.

6.1.3. Vai trò của hệ thống đường ống và lăng phun trong hệ thống phun bọt

Hệ thống đường ống: Đảm nhiệm việc dẫn chất tạo bọt từ nguồn cung cấp đến các lăng phun. Chúng phải được thiết kế để chịu được áp suất và các điều kiện môi trường khắc nghiệt, đảm bảo không xảy ra rò rỉ hay thất thoát chất chữa cháy.

Lăng phun: Là thiết bị cuối cùng trong hệ thống, có nhiệm vụ phun bọt chữa cháy lên khu vực cần bảo vệ. Thiết kế của lăng phun ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu quả phun bọt, bao gồm khả năng tạo bọt, phạm vi phun và độ chính xác.

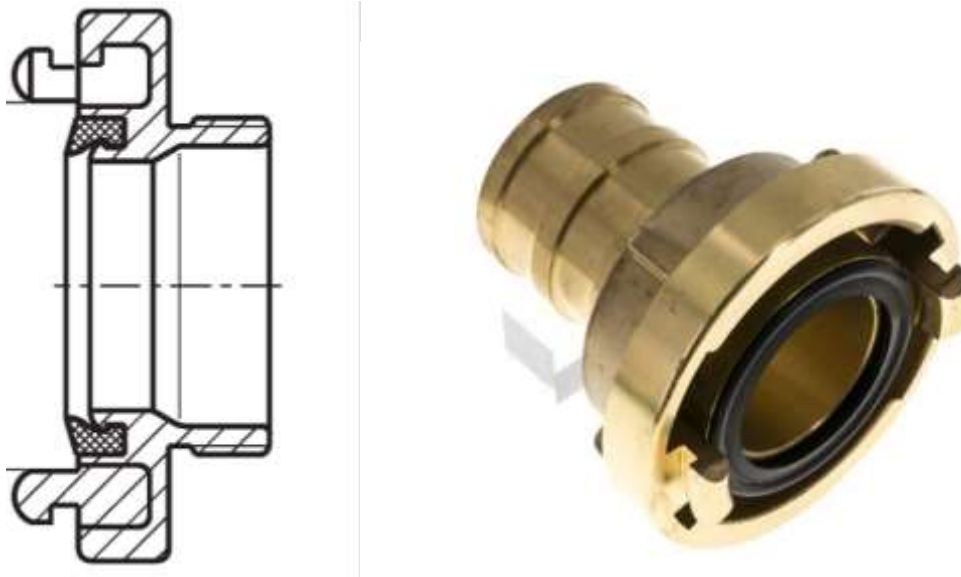
6.2. Kết nối đường ống với bơm và lăng phun

Trên xe chữa cháy phun foam chuyên dụng, bơm chính cấp nước áp lực cao cho toàn hệ thống, trong khi bơm bọt (nếu có) hút dung dịch tạo bọt từ bồn chứa và bơm vào đường nước. Nước và dung dịch foam được dẫn qua một hệ ống thép chịu áp lực tới

lăng phun cố định trên xe. Quá trình hòa trộn nước – bọt thường sử dụng bộ phận điều chỉnh tỷ lệ (foam proportioner) hoặc vòi phun tự hút (eductor) được lắp đặt trên đường ống. Hệ thống eductor hoạt động theo nguyên lý Bernoulli: nước bơm qua ống Venturi tạo chân không, hút dung dịch bọt vào và trộn đều. Điểm cấp foam vào đường nước được đặt sau van một chiều (check valve) trên ống ra của bơm nước để ngăn dung dịch bọt ngược dòng vào bơm.

Các bộ phận chính của hệ nối ống từ bơm tới lăng phun bao gồm:

Khớp nối nhanh (coupling): Là các khớp nối Storz hoặc Victaulic hai mảnh, làm bằng hợp kim nhôm hoặc đồng thau để kết nối nhanh các đoạn ống và van với vòi, lăng.



Hình 6.4. Khớp nối nhanh.

Mặt bích (flange): các mặt bích ren 10 bu-lông được dùng để nối ống thép lớn trực tiếp với van hoặc lăng phun (bắt bulông) .

Van chặn (shut-off valve) và van một chiều (check valve): van tay, van bi ôm hoặc van cổng bằng inox/đồng chịu áp được đặt trên nhánh ống để cô lập nước hoặc xả nước/bọt dư thừa. Van một chiều lắp ngay sau bơm để tránh dòng chảy ngược vào.

Ống mềm giảm rung (flexible rubber joint): loại cao su chịu áp có bích hai đầu dùng để kết nối trực tiếp giữa bơm và ống thép hoặc giữa các cụm ống, vừa chịu áp vừa giảm rung động do máy bơm và khung xe. Khớp cao su này có khả năng giãn nở, phân tán áp suất đều lên thành ống và giảm chấn động cơ cấu khi xe vận hành.

Đồng hồ áp suất: lắp ở các nhánh ra trọng yếu (trên lăng phun hoặc bên thân xe) để đo áp suất tại đường ống. Đồng hồ thường có vỏ inox hoặc đồng thau mạ chống ăn mòn, chỉ định dải áp từ 0–20 bar hoặc 0–300 psi tương ứng với tiêu chuẩn.

Khớp xoay (swivel joint): được đặt giữa ống cấp chính và thân lăng phun hoặc vòi chuyên dụng để cho phép lăng/ngòi có thể quay ngang/dọc. Ví dụ bản vẽ sản phẩm Foam Monitor Varun 443 cho thấy bộ phận “Swivel Joint V & H rotation” dùng để điều chỉnh góc phun.

Bộ điều chỉnh tỷ lệ foam (induction metering valve): được tích hợp ngay trên lăng phun hoặc đường ống dẫn, cho phép điều chỉnh tỉ lệ pha trộn dung dịch foam với nước (thường 1–6%).

Vật liệu sử dụng cho các thành phần trên đều yêu cầu chống ăn mòn và chịu áp suất cao. Theo khuyến cáo của các nhà sản xuất và tiêu chuẩn NFPA/NFPA^[37], ống dẫn chính thường làm từ thép không gỉ SUS304 (inox 304) đạt Schedule #10 cho ống hút và Schedule #10 hoặc #40 cho ống xả. Toàn bộ các phụ kiện như khớp nối Victaulic, mặt bích, van bi, vòi phun và ống mềm đều dùng inox hoặc hợp kim nhôm/đồng thau.

Các tiêu chuẩn kỹ thuật áp dụng gồm NFPA 1901^[38] (xe cứu hỏa), NFPA^[39] 11 (hệ thống foam), NFPA 13^[40] (đầu phun sprinkler), ISO 14520^[41] (hệ thống chữa cháy bằng khí) và các TCVN liên quan. Theo tiêu chuẩn của NFPA 1901^[38], hệ thống đường ống và máy bơm phải được thử áp lực thủy lực trước khi bàn giao. Chất lượng vật liệu và thi công phải tuân theo tiêu chí “bơm và ống làm bằng thép không gỉ hoặc ống mềm có phụ kiện inox”. Về TCVN, tiêu chuẩn 3890:1984 quy định toàn bộ thiết bị PCCC phải sơn màu đỏ lửa để dễ nhận biết (trong thực tế xe chữa cháy phun foam thường phối màu riêng theo nhà sản xuất). Các quy định về vật liệu chống ăn mòn tương tự NFPA 13^[40] cũng được tham chiếu: đường ống phải là vật liệu chống ăn mòn hoặc có lớp phủ bảo vệ bề mặt.

6.3. Giải pháp bảo vệ đường ống

Hệ thống đường ống trên xe chữa cháy hoạt động trong điều kiện khắc nghiệt: thường xuyên tiếp xúc môi trường bên ngoài (mưa, hoá chất, bụi bẩn), chịu rung động mạnh (do chuyển động xe và máy bơm), thay đổi nhiệt độ đột ngột (hoạt động ban ngày/lạnh buổi tối) và nguy cơ va đập cơ học (đá bắn, va chạm khi di chuyển). Những yếu tố này dễ gây ăn mòn bề mặt ống, lão hoá vật liệu và nứt gãy do mỏi kim loại. Ngoài ra, rung chấn liên tục làm lỏng khớp nối, nối lỏng bu-lông, thậm chí gây nứt gãy tại các điểm cố định nếu không được tính toán phù hợp.

Để bảo vệ hệ ống khỏi các tác hại trên, cần kết hợp biện pháp thiết kế và công nghệ sau:

Lớp sơn phủ chống ăn mòn: Đường ống và các phụ kiện thường được sơn nhiều lớp với primer chống gỉ và sơn phủ cuối cùng bằng sơn epoxy hoặc polyurethane chất lượng cao. Sơn epoxy hai thành phần có độ bám dính tốt, chịu va đập và hóa chất cao. Nhiều nhà máy theo tiêu chuẩn NFPA 1901^[38] cũng chỉ định sơn phủ màu bạc kim loại (dùng lớp bảo vệ) cho hệ thống ống. Ở Việt Nam, theo TCVN 3890-1984^[43] các thiết bị PCCC phải sơn màu đỏ để dễ nhận biết, vì vậy khi thiết kế cần chọn loại sơn đáp ứng cả tiêu chí thẩm mỹ và bền hóa chất.

Vật liệu chống ăn mòn: Ưu tiên dùng vật liệu có khả năng chống ăn mòn cao như inox 304/316, đồng thau hoặc hợp kim nhôm. Với các đoạn ống thép cacbon, có thể mạ kẽm hoặc sơn lót kẽm trước khi sơn phủ. Các khớp nối mềm cao su (loại hai bích) cũng giúp bảo vệ đường ống bằng cách cách ly tác nhân ăn mòn; cao su lưu hóa tự nhiên có tính chịu hóa chất tốt. Theo nhà sản xuất Waterous, ống dẫn foam và linh kiện phải “được làm bằng vật liệu chống ăn mòn và tương thích với dung dịch foam”. Điều này cũng phù hợp với khuyến cáo của NFPA rằng hệ thống chứa dung dịch dập cháy phải dùng vật liệu không gỉ hoặc phủ bảo vệ chống ăn mòn.

Lắp đặt các gối đỡ giảm chấn: Ống dẫn được cố định bằng gối đỡ/giá đỡ có lớp lót cao su hoặc bọc giảm chấn, để hấp thụ rung động. Các khớp nối bích mềm (khớp giãn nở cao su) được lắp ở một số vị trí quan trọng, ví dụ ngay sau máy bơm và trước các van lớn, nhằm bù giãn do nhiệt độ và giảm chấn động tức thời. Khớp nối mềm cho phép đường ống co giãn theo nhiệt độ và làm dịu lực truyền lên van – giúp “phân bố áp suất đều lên toàn bộ bề mặt khớp” và giảm tiếng ồn hệ thống đáng kể. Chúng cũng ngăn không cho rung xoắn từ máy bơm truyền trực tiếp lên ống cố định.

Khớp giãn nở (expansion joint): Đối với các đoạn ống dài hoặc nối giữa hai module cứng, khớp giãn nở được sử dụng để chịu sự giãn nở/ co ngót của ống do nhiệt. Thiết bị này cho phép đường ống dài thay đổi kích thước mà không gây ứng suất quá mức lên hệ thống, đồng thời góp phần giảm rung và méo mó kết cấu. Đây là biện pháp thông dụng trong ngành công nghiệp để “bù trừ sự giãn nở khi nhiệt độ thay đổi” và kéo dài tuổi thọ hệ thống đường ống PCCC.

Chống va đập cơ học: Ống dẫn ngoài cùng nên có chấn bảo vệ hoặc dẫn đường qua các máng cứng. Vị trí lắp đặt tránh những nơi va chạm trực tiếp như sát mặt đất khi xe nghiêng. Ngay cả đồng hồ áp suất cũng có thể được bảo vệ bởi tấm chắn trong trường hợp có vật rơi hay va quệt.

6.4. Thiết kế hệ thống đường ống

6.4.1. Lựa chọn vật liệu ống (thép, nhôm, composite...)

Vật liệu ống cần chịu được:

- Áp suất cao (từ bơm cứu hỏa).
- Ăn mòn thấp (vì tiếp xúc nước & hóa chất chữa cháy).
- Khối lượng nhẹ (để giảm tải trọng xe).

Vật liệu phổ biến:

Bảng 6.1. Vật liệu chế tạo đường ống

Vật liệu	Ưu điểm	Nhược điểm
Thép carbon mạ kẽm	Chịu áp lực cao, bền, giá rẻ	Nặng, dễ gỉ nếu lớp mạ bị hỏng
Thép không gỉ (Inox 304, 316)	Chống ăn mòn tốt, chịu nhiệt cao	Giá đắt hơn thép carbon
Nhôm hợp kim (6061-T6)	Nhẹ, chống ăn mòn tốt	Chịu áp lực kém hơn thép
Nhựa gia cường sợi thủy tinh (GFRP)	Chống ăn mòn cực tốt, nhẹ	Không chịu áp suất cao tốt như kim loại

Chọn vật liệu: Thép không gỉ 304^[44] vì:

- Chịu được áp suất cao của bơm
- Chống ăn mòn tốt hơn so với thép thường
- An toàn với nước cứu hỏa & hóa chất tạo bọt

6.4.2. Xác định đường kính và độ dày của ống nước

Theo điều tra thực tế, lưu lượng chất chữa cháy của hệ thống nước trong đường ống khoảng 10 m/s, yêu cầu thiết kế chung phải nhỏ hơn 12 m/s. Theo đó, có thể tính toán được đường kính D của đầu vào vòi phun chữa cháy.

Theo công thức diện tích mặt cắt ngang của vòi phun:

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{Q}{V} \quad (6.1)$$

Đường kính đường ống D :

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}} \quad (6.2)$$

Để tính vận tốc dòng chảy trong đường ống hút, đường ống đẩy, và đường ống hồi trên xe cứu hỏa, ta sử dụng công thức phương trình liên tục:

$$v = \frac{Q}{A} \quad (6.3)$$

a. Đường kính trong đường ống hút (Pump Intake Pipe)

Đường ống hút nước từ bể chứa hoặc nguồn bên ngoài vào bơm. Vận tốc dòng chảy phải thấp để tránh hiện tượng xâm thực (cavitation).

Tiêu chuẩn vận tốc:

- $v_{hút} = 1 - 2 \text{ m/s}$ (Theo NFPA 1901)^[38]
- Nếu vận tốc quá cao dẫn đến xảy ra xâm thực, gây hư hỏng bơm.

Theo công thức (6.3), đường kính ống hút:

$$d_h = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}} = \sqrt{\frac{4.166,66.10^6}{\pi.(1 \div 2).10^3}} = 326 \div 461 \text{ mm}$$

Chọn đường kính tiêu chuẩn: 350 mm hoặc 500 mm để đảm bảo an toàn. Chọn 350mm $v_1 = 1,8 \text{ m/s}$ để giảm tổn thất áp suất.

b. Đường kính trong đường ống đẩy (Pump Discharge Pipe)

Tiêu chuẩn vận tốc đường ống đẩy: 5 - 10 m/s để đảm bảo áp suất đầu ra cao.

Theo công thức (6.3):

$$d_d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}} = \sqrt{\frac{4.166,66.10^6}{\pi.(5 \div 10).10^3}} = 145 \div 206 \text{ mm}$$

Chọn đường kính tiêu chuẩn trong khoảng 145 mm tới 206 mm để đảm bảo an toàn. Chọn 190 mm với $v_2 = 6 \text{ m/s}$ để giảm tổn thất áp suất.

c. Đường kính trong đường ống hồi (Return Pipe)

Tiêu chuẩn vận tốc đường ống hồi: 1 - 3 m/s để tránh dòng chảy quá nhanh gây xói mòn trong bể chứa.

Áp dụng công thức (6.3) để tính đường kính ống hồi. Với $Q = 30\%.166,7 = 50 \text{ l/s}$

$$d_{\text{hồi}} = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}} = \sqrt{\frac{4.50.10^6}{\pi.(1 \div 3).10^3}} = 145 \div 178 \text{ mm}$$

Đường ống hồi được bắt đầu từ đế van về bể. Chọn ống hồi làm bằng nhôm hoặc bằng thép đúc có đường kính 160 mm với $v_3 = 2,5$.

d. Chiều thành ống

Chiều dày thành ống được tính theo công thức kiểm nghiệm sức bền ống. Sử dụng công thức Barlow^[45] để tính độ dày ống chịu áp suất:

$$[\sigma] = \frac{10^5 \cdot P_b \cdot d}{2s} \left[N / m^2 \right] \quad (6.4)$$

$$s = \frac{10^5 \cdot P_b \cdot d}{2 \cdot [\sigma]} \text{ (cm)} \quad (6.5)$$

Trong đó:

s = Độ dày thành ống (mm)

P_b = Áp suất thiết kế (MPa), $P_b = 1 \text{ MPa} = 10 \text{ bar}$

d = Đường kính trong của ống (mm), $d = 350 \text{ mm}$

$[\sigma]$ = Ứng suất cho phép của vật liệu (MPa),

Đối với ống thép $[\sigma] = (400 \div 600) \cdot 10^5 [N.m^2]$

Chiều dày thành ống đối với ống thép:

$$s = \frac{10^5 \cdot 1 \cdot 350}{2 \cdot (400 \div 600) \cdot 10^5 + 1} = 19 \div 29 \text{ mm}$$

Chọn độ dày tiêu chuẩn: 19 mm hoặc 29 mm để đảm bảo an toàn. Chọn ống thép không gỉ đường kính 350 mm, dày 20 mm để chịu áp suất cao.

6.4.3. Xác định đường kính và độ dày của ống foam

a. Tính toán lưu lượng bơm bọt

Trong hệ thống chữa cháy bằng bọt foam trên xe chuyên dụng, việc xác định lưu lượng chất tạo bọt (foam concentrate) là một bước quan trọng nhằm đảm bảo hiệu quả dập lửa và tối ưu hóa tài nguyên chứa theo từng tình huống cứu hỏa. Xe được thiết kế mang theo 6.500 lít dung dịch bọt foam và 2.500 lít nước, sử dụng kết hợp trong hệ thống bơm chính có lưu lượng thiết kế 10.000 lít/phút.

Theo yêu cầu kỹ thuật, hệ thống được thiết kế hoạt động với tỷ lệ pha trộn foam là 3%, tức là trong mỗi 100 lít hỗn hợp phun ra sẽ có 3 lít là dung dịch tạo bọt. Lưu lượng bọt cần thiết được tính như sau:

$$Q_{\text{foam}} = Q_n \cdot \frac{3}{100} = 10000 \cdot 0,03 = 300 \text{ lít/phút} \quad (6.6)$$

Như vậy, để hệ thống hoạt động đúng tỷ lệ 3%, bơm bọt phải cung cấp lưu lượng 300 lít/phút đồng thời với bơm nước. Đây là yêu cầu bắt buộc nhằm đảm bảo hỗn hợp sau khi đi qua bộ trộn (foam proportioner) đạt được khả năng bao phủ và cách ly bề mặt cháy theo tiêu chuẩn của NFPA 11^[39].

Với dung tích chứa 6.500 lít bọt, thời gian hoạt động liên tục tối đa tại lưu lượng thiết kế được tính như sau:

$$T = \frac{6500}{300} \approx 21,7 \text{ (phút)} \quad (6.7)$$

Điều này đồng nghĩa với việc hệ thống có thể hoạt động liên tục trong khoảng 21 phút 42 giây trước khi cạn nguồn foam, nếu hoạt động ở lưu lượng tối đa.

Từ cơ sở này, lựa chọn các thiết bị bơm bọt và bộ chia tỷ lệ tương thích với khả năng hút và phân phối foam ở lưu lượng 300 lít/phút với áp suất danh định từ 10 đến 12 bar, đồng thời đảm bảo tính ổn định của tỷ lệ trộn qua van điều chỉnh chuyên dụng. Đường ống dẫn foam được bố trí ngắn, hạn chế tổn thất áp lực, sử dụng vật liệu chịu hóa chất ăn mòn và có khả năng chống xẹp trong điều kiện hút mạnh.

b. Đường ống hút dung dịch bọt (từ bồn chứa đến bơm foam)

Do đây là tuyến hút có lưu lượng thấp (5 lít/s) và không cần chịu áp lực lớn, ưu tiên thiết kế vận tốc dòng chảy không vượt quá 1–2 m/s để tránh tạo xoáy khí trong đường ống gây tạo bọt sớm. Đường kính thủy lực yêu cầu là:

$$D_{hf} = \sqrt{\frac{4.Q_f}{\pi.v_{hf}}} = \sqrt{\frac{4.5.10^{-3}}{\pi.1}} = 0.079m$$

Chọn: ống hút phi DN80 (đường kính 89 mm).

c. Đường ống đẩy dung dịch bọt (sau bơm, trước khi vào bộ trộn)

Đây là tuyến áp lực cao, chịu tải 12 bar. Do lưu lượng thấp nhưng áp cao, có thể cho phép vận tốc dòng chảy đến 2,5–3 m/s. Đường kính yêu cầu vào:

$$D_{df} = \sqrt{\frac{4.Q_f}{\pi.v_{df}}} = \sqrt{\frac{4.5.10^{-3}}{\pi.2,5}} = 0.05m = 50mm$$

Chọn ống đẩy foam DN50 (đường kính ngoài 60,3 mm).

c. Xác định đường kính ống đẩy foam đến lăng giá cố định.

Trong hệ thống chữa cháy bằng foam trên xe chuyên dụng, dung dịch bọt (foam concentrate) được cấp từ bồn chứa tới bộ chia tỷ lệ (foam proportioner) để pha trộn với nước trước khi đưa đến lăng phun. Với lưu lượng nước thiết kế là $Q_{f1} = 6000$ lít/phút, và tỷ lệ pha trộn foam là 3%, lưu lượng bọt cần thiết được tính như sau:

$$Q_{f1} = 6000 \cdot \frac{3}{100} = 180 \text{ (lít/phút)} = 3 \text{ (lít/giây)}$$

Với đặc tính của foam concentrate là dễ tạo bọt khí khi bị khuấy mạnh hoặc vận tốc quá cao, vận tốc dòng chảy trong ống được giới hạn trong khoảng 2,5 m/s để đảm bảo dòng ổn định và tránh tạo xoáy.

Áp dụng công thức (6.3) tính đường kính ống dẫn dung dịch foam đến lăng phun cố định:

$$D_{f1} = \sqrt{\frac{4.Q}{\pi.v}} = \sqrt{\frac{4.3.10^{-3}}{\pi.2,5}} \approx 0.039m \approx 40mm$$

Từ kết quả trên, lựa chọn ống chuẩn DN40 (đường kính ngoài 50,3 mm) để dẫn dung dịch bọt từ bồn chứa đến bộ trộn.

d. Xác định đường kính ống đẩy foam đến lăng di động.

Trong hệ thống chữa cháy bằng foam trên xe chuyên dụng, dung dịch bọt (foam concentrate) được cấp từ bồn chứa tới bộ chia tỷ lệ (foam proportioner) để pha trộn với nước trước khi đưa đến lăng phun cầm tay. Với lưu lượng nước thiết kế cho 6 lăng cầm

tay là $Q_{f2} = \frac{4000}{6} = 666,66$ lít/phút, và tỷ lệ pha trộn foam là 3%, lưu lượng bọt cần thiết được tính như sau:

$$Q_{f2} = 666,66 \cdot \frac{3}{100} = 20l / phút = 0,33l / s$$

Với đặc tính của foam concentrate là dễ tạo bọt khí khi bị khuấy mạnh hoặc vận tốc quá cao, vận tốc dòng chảy trong ống được giới hạn trong khoảng 2.5 m/s để đảm bảo dòng ổn định và tránh tạo xoáy.

Áp dụng công thức tính đường kính ống dẫn:

$$D_{f2} = \sqrt{\frac{4.Q}{\pi.v}} = \sqrt{\frac{4.0,33.10^{-3}}{\pi.2,5}} \approx 0.0129m \approx 13mm$$

Từ kết quả trên, lựa chọn ống chuẩn DN15 (φ ngoài 21,3 mm) để dẫn dung dịch bọt từ đường ống đẩy của bơm bọt đến bộ trộn các lăng cầm tay.

6.5. Thiết kế lăng phun

6.5.1. Nguyên lý hoạt động của lăng phun

Vòi phun là một loại phần tử chuyển đổi năng lượng, chuyển đổi năng lượng áp suất thành động năng thông qua quá trình hoạt động của tia phun, cuối cùng phun ra ngoài dưới dạng tia phun tốc độ cao để dập tắt đám cháy trong một khoảng cách nhất định. Do đó, vòi phun có hiệu suất tốt có thể cải thiện đáng kể hiệu quả của tia phun môi trường chất lỏng và đạt được hiệu suất phun tốt.

Có nhiều loại vòi phun, có thể chia thành: vòi phun xoắn ốc, vòi phun hình trụ có lỗ thẳng, vòi phun hình nón, v.v. Trong bản thân dự án thực tế, vòi phun hình nón và vòi phun hình trụ có lỗ thẳng thường được sử dụng. Vòi phun hình trụ có lỗ thẳng có hai chức năng là vòi phun và súng phun. Mặc dù cấu trúc đơn giản, phạm vi và tuổi thọ sử dụng ngắn. Vòi phun hình nón có phần thẳng có hiệu ứng gom lại và đầu vào hình nón có hiệu ứng chuyển hướng. Nó có phạm vi xa, thiết kế đơn giản và dễ gia công. Theo

các cấu trúc khác nhau, nó có thể được chia thành: vòi phun chuyển hướng và vòi phun dòng điện một chiều. Cấu trúc của vòi phun chuyển hướng phức tạp, có thể thực hiện chuyển đổi lẫn nhau giữa dòng điện một chiều và tia phun. Vòi phun dòng điện một chiều có cụm tốt, ngoại hình đơn giản và vận hành dễ dàng. Trong cùng một trạng thái, phạm vi lớn hơn nhiều so với vòi phun chuyển hướng, đó là lý do tại sao hầu hết các khẩu pháo nước chữa cháy có tầm bắn xa, chiều cao bắn cao và lưu lượng lớn đều sử dụng vòi phun DC^[46]

Lăng phun foam là một thiết bị chuyên dụng dùng để tạo và phun bọt chữa cháy. Nguyên lý hoạt động dựa trên việc trộn chất tạo bọt với nước và không khí để tạo ra hỗn hợp bọt có khả năng dập cháy hiệu quả. Quá trình này thường gồm các giai đoạn:

- Dẫn nước có áp suất từ hệ thống đến lăng phun.
- Hút và trộn dung dịch tạo bọt vào dòng nước.
- Khuếch tán không khí vào hỗn hợp để tạo thành bọt chữa cháy.
- Phun bọt lên đám cháy với áp suất và lưu lượng phù hợp.



Hình 6.5. Lăng phun giá cố định.

6.5.2. Phân loại lăng phun (lăng cố định, lăng cầm tay, lăng xoay,...)

Lăng phun foam có thể được phân loại theo các tiêu chí sau:

- Theo cơ chế hoạt động:
 - Lăng phun hút khí tự nhiên (air aspirating nozzle): sử dụng nguyên lý Venturi để hút không khí vào hỗn hợp.
 - Lăng phun không hút khí (non-air aspirating nozzle): không có cơ chế hút khí, bọt tạo ra ít giãn nở hơn.

- Theo tính di động:
 - Lăng phun cố định: gắn cố định trên xe chữa cháy hoặc hệ thống chữa cháy tự động.
 - Lăng phun cầm tay: linh hoạt, dễ di chuyển.
 - Lăng phun xoay: có thể điều chỉnh hướng phun.
- Theo lưu lượng và áp suất làm việc:
 - Lăng phun lưu lượng thấp (<100 l/ph).
 - Lăng phun lưu lượng trung bình (100 - 400 l/ph).
 - Lăng phun lưu lượng cao (>400 l/ph).

6.5.3. Tính toán kết cấu vòi phun nước chữa cháy cố định

Bảng 6.2. Thông số chữa cháy

Thông số cần xác định	Giá trị
Loại đám cháy	A (gỗ, giấy, vải...), B (xăng, dầu...), C (khí), D (kim loại)
Diện tích cần bảo vệ	10 - 200 m ²
Mật độ phun	4-20 l/m ² /s (tùy loại cháy)
Áp suất đầu ra (P)	8 - 10 bar
Tầm phun của lăng giá	80-125 m

Các thông số cấu trúc của các thành phần khác của màn hình nước chữa cháy có thể tham chiếu đến đường kính của kênh chính. Thiết kế vòi phun có thể dựa trên các quy định của màn hình chữa cháy quốc gia GB 19156-2019^[35]. Các thông số được đưa ra là: áp suất làm việc $P_0 = 10 \text{ bar} = 1 \text{ MPa}$, lưu lượng đầu vào $Q = 100 \text{ l/s}$, chiều dài tiết diện chính lưu $L = 95 \text{ mm}$, chiều dài tổng thể của vòi phun 450mm, đường kính đầu ra của thân súng có thể được tính theo công thức^[47]

Lưu lượng qua đầu ra của vòi phun Q:

$$Q = C_0 A \sqrt{\frac{2P_0}{\rho}} \quad (6.8)$$

Trong đó:

Q—Lưu lượng định mức của vòi phun chữa cháy, tức là lưu lượng đầu ra của vòi phun, l/s.

C_0 —Hệ số lưu lượng vòi phun; độ co ngót đầu vòi phun chữa cháy là rõ ràng, tồn thất lưu lượng lớn hơn, Chọn $C_0 = 0,8$.

A—Diện tích vòi phun (mm²), $A = \frac{\pi d^2}{4}$, d là đường kính đầu ra của vòi phun nước chữa cháy.

P_0 —Áp suất tĩnh đầu vào của vòi phun chữa cháy, tức là áp suất làm việc định mức, MPa.

ρ —Khối lượng riêng của nước, 10³ kg/m³.

Từ công thức trên, diện tích mặt cắt ngang của vòi phun A:

$$A = \frac{Q}{C_0} \sqrt{\frac{\rho}{2P_0}} \quad (6.9)$$

Đường kính đầu ra của súng phun nước chữa cháy d_1 :

$$d_1 = \sqrt[4]{\frac{8\rho}{C_0^2 \pi^2 P_0}} \sqrt{Q} \quad (6.10)$$

Theo các thông số làm việc của vòi phun nước chữa cháy được thiết kế, đường kính đầu ra của vòi phun nước được tính toán như sau:

$$d_1 = \sqrt[4]{\frac{8.1.10^3}{0,8^2 \pi^2 1.10^6}} \sqrt{100.10^{-3}} = 59,7mm$$

Chọn $d_1 = 60 \text{ mm}$.

Theo điều tra thực tế, lưu lượng chất chữa cháy của hệ thống nước trong đường ống khoảng 8-9 m/s, yêu cầu thiết kế chung phải nhỏ hơn 12 m/s. Theo đó, có thể tính toán được đường kính D của đầu vào vòi phun chữa cháy.

Theo công thức diện tích mặt cắt ngang của vòi phun:

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{Q}{V} \quad (6.11)$$

Đường kính đầu vào của vòi phun nước chữa cháy D_1 tính theo công thức (6.3):

$$D_1 = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}} = \sqrt{\frac{4.100.10^6}{\pi.8.5.10^3}} = 122,38mm$$

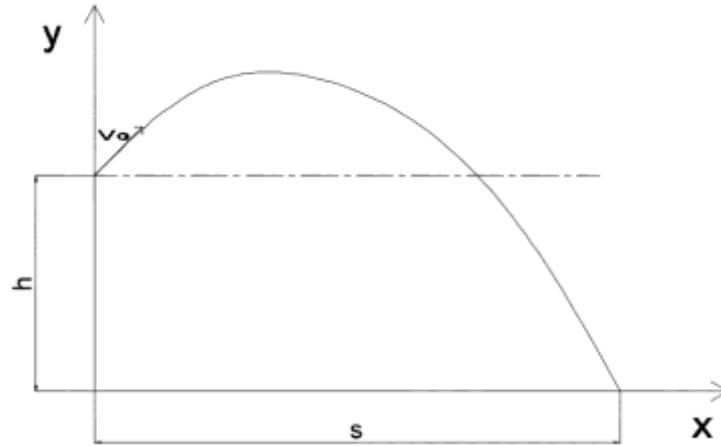
Chọn $D_1 = 125 \text{ mm}$.

Theo tiêu chuẩn quốc gia (GB/T 1047-2019)^[48] về định nghĩa và tiêu chuẩn lựa chọn kích thước danh nghĩa của các thành phần ống, các ống có thông số kỹ thuật ống DN60 và DN125 được chọn làm đầu ra và đầu vào của vòi phun giám sát nước chữa cháy tương ứng. Lúc này, lưu lượng trung bình của ống đầu vào vòi phun là 10 m/s, đáp ứng được yêu cầu vận hành thực tế.

Lúc này, vận tốc đầu ra của vòi phun v:

$$v_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{4Q}{\pi d_1^2} = \frac{4.100.10^6}{\pi.(60.10^{-3})^2} = 35,37m/s$$

Tính toán chiều cao và cự ly phun của vòi phun:



Hình 6.6. Quỹ đạo phun.

- Phương trình chuyển động của nước bắn xiên là:

$$x = (v_0 \cdot \cos \alpha) \cdot t$$

$$y = h + (v_0 \cdot \sin \alpha) \cdot t - \frac{1}{2} g t^2 \quad (6.12)$$

- Tại điểm rơi, $y=0$

$$\tan \alpha = \frac{v_0^2}{g \cdot l} \cdot \left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{g^2 \cdot l^2}{v_0^4} + \frac{2gh}{v_0^2}} \right)$$

$$1 - \frac{g^2 \cdot l^2}{v_0^4} + \frac{2gh}{v_0^2} \geq 0$$

$$l \leq \frac{v_0}{g} \cdot \sqrt{v_0^2 + 2gh}$$

$$s_{\max} = \frac{v_0}{g} \cdot \sqrt{v_0^2 + 2gh} \quad \text{khi và chỉ khi} \quad \tan \alpha = \frac{v_0}{\sqrt{v_0^2 + 2gh}}$$

- Vậy tầm xa lý tưởng để đạt được tầm phun xa nhất, giả sử là 45° :

$$L = \frac{v_0^2 \cdot \sin(2\alpha)}{g} = \frac{35,37^2 \cdot \sin(2 \cdot 45^\circ)}{9,81} = 127,5m \quad (6.13)$$

- Chiều cao mà nước phun được:

$$H = \frac{v_0^2 \cdot \sin^2(\alpha)}{2g} = \frac{35,37^2 \cdot \sin^2(45^\circ)}{2 \cdot 9,81} = 31,9m \quad (6.14)$$

❖ Bán kính cong tối thiểu của đoạn gấp khúc

Đường ống của lăng thường có khúc cong (gấp khúc) để đổi hướng dòng chảy (ví dụ chuyển hướng từ phương đứng sang phương ngang tại chỗ lăng phun). Để đảm bảo dòng chảy không bị xoáy mạnh và tổn thất áp suất nhỏ, đoạn cong cần có bán kính đủ lớn. Nếu đường kính cong quá nhỏ, dòng nước sẽ tách lớp, sinh ra xoáy rối (vortex) và

tụt áp lớn, ảnh hưởng đến lưu lượng và tầm phun. Ngược lại, bán kính cong lớn sẽ giúp dòng chảy êm hơn (ít rối loạn hơn).

Theo kinh nghiệm thiết kế đường ống, nên sử dụng cút cong loại dài với bán kính cong R tối thiểu khoảng 1,5–3 lần đường kính ống hoặc lớn hơn. Nghiên cứu cho thấy

khi tỷ số cong $\frac{R}{D} = 1,5 \div 3$, tổn thất dòng chảy đạt giá trị nhỏ nhất (dòng chảy ít bị rối).

Nếu R tăng quá lớn, tổn thất ma sát dọc đoạn cong sẽ tăng do chiều dài ống lớn hơn, nhưng nhìn chung R lớn vẫn tốt cho sự ổn định của dòng. Do đó, trong thiết kế lăng phun lưu lượng lớn, các đoạn uốn cong thường rất thoải (bán kính lớn) để hạn chế xoáy.

Ký hiệu và đơn vị: R (m) là bán kính cong (tính theo tâm đường ống), D (m) đường kính ống.

Khi thiết kế, ưu tiên chọn cút tiêu chuẩn loại long radius (thường $R = 1,5D$ đối với cút tiêu chuẩn). Với lăng phun yêu cầu dòng lớn và ổn định, có thể thiết kế cút uốn riêng với R lớn hơn tiêu chuẩn (gấp 1,5–3 lần D) để giảm thiểu dòng xoáy cục bộ

$$R = (2 \div 3) \cdot D = 187,5 \div 375 \text{ mm} \quad (6.15)$$

Chọn $R = 200 \text{ mm}$.

6.5.4. Thiết kế kết cấu vòi phun nước chữa cháy di động

Các thông số cấu trúc của các thành phần khác của màn hình nước chữa cháy có thể tham chiếu đến đường kính của kênh chính. Thiết kế vòi phun có thể dựa trên các quy định của màn hình chữa cháy quốc gia (GB 19156-2019)^[49], trang bị 6 lăng cầm tay

được bố trí 2 bên thân xe, với lưu lượng $Q_{l_2} = \frac{4000}{6} = 666,666 \text{ l/phút}$.

Vậy lưu lượng của mỗi lăng cầm tay là:

$$Q_{l_2} = \frac{66,66}{6} = 11,11 \text{ l/s}$$

Các thông số được đưa ra đối với lăng cầm tay là; áp suất làm việc $P_0 = 1 \text{ MPa}$ (theo quy định tại 5.1.4 TCVN^[50]), lưu lượng đầu vào các đầu súng phun $Q = 11,11 \text{ L/s}$, chiều dài tiết diện chính lưu $L = 95 \text{ mm}$, chiều dài tổng thể của vòi phun 450 mm , đường kính đầu ra của thân súng có thể được tính theo Công thức (2)^[47].

Đường kính đầu ra của súng phun nước chữa cháy d:

$$d_2 = \sqrt[4]{\frac{8\rho}{C_0^2 \pi^2 P_0}} \sqrt{Q} \quad (6.16)$$

Theo các thông số làm việc của vòi phun nước chữa cháy được thiết kế, đường kính đầu ra của vòi phun nước được tính toán như sau:

$$d_2 = \sqrt[4]{\frac{8 \cdot 1 \cdot 10^3}{0,8^2 \cdot \pi^2 \cdot 1 \cdot 10^6}} \sqrt{11,11 \cdot 10^{-3}} = 0,019 \text{ m} = 19 \text{ mm}$$

Chọn $d_2 = 20 \text{ mm}$

Theo điều tra thực tế, lưu lượng chất chữa cháy của hệ thống nước trong đường ống khoảng 8-9 m/s, yêu cầu thiết kế chung phải nhỏ hơn 12 m/s. Theo đó, có thể tính toán được đường kính D của đầu vào vòi phun chữa cháy.

Theo công thức diện tích mặt cắt ngang của vòi phun:

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{Q}{V} \quad (6.17)$$

Đường kính đầu vào của vòi phun nước chữa cháy D:

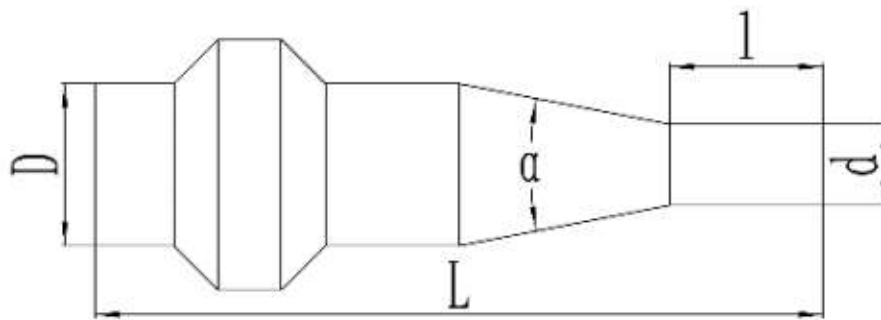
$$D_2 = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}} = \sqrt{\frac{4.11,11.10^6}{\pi.8,5.10^3}} = 39,65 \text{ mm}$$

Chọn D = 40 mm.

Lúc này, vận tốc đầu ra của vòi phun v:

$$v_2 = \frac{Q}{A} = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4.11,11.10^6}{\pi.(20.10^{-3})^2} = 15,71 \text{ (m/s)}$$

Theo tiêu chuẩn thiết kế trên, cấu trúc vòi phun của vòi phun nước chữa cháy được thiết kế được thể hiện ở Hình 1, các thông số thiết kế được thể hiện ở Bảng 6.3.



Hình 6.7. Sơ đồ cấu trúc lăng phun chữa cháy

D-Đường kính đầu vào của vòi phun; d-Đường kính đầu ra của vòi phun;
a-Góc hội tụ của vòi phun; L-Chiều dài tổng thể của vòi phun;
l-Chiều dài của phần chỉnh lưu vòi phun.

Bảng 6.3. Các thông số cấu trúc của vòi phun giám sát cháy.

Kết cấu	Giá trị
Đường kính đầu vào của vòi phun D/mm	40
Đường kính đầu ra của vòi phun d/mm	20
Góc hội tụ của vòi phun α°	11
Chiều dài tổng thể của vòi phun L/mm	300
Chiều dài của phần chỉnh lưu vòi phun l/mm	120

6.5.5. Tính toán vùng phủ bọt của lăng phun cố định

Để đánh giá khả năng bao phủ của lăng phun nóc 6000 Lít/phút, cần xác định vùng diện tích đám cháy tối đa có thể phủ bọt hiệu quả. Vùng phủ bọt phụ thuộc vào lưu lượng phun, tỷ lệ trộn bọt, loại bọt chữa cháy và mức ứng dụng (Lít/phút trên mỗi mét vuông) cần thiết để dập tắt đám cháy. Theo tiêu chuẩn NFPA 11^[39] và khuyến cáo hãng foam, đám cháy chất lỏng loại B (xăng dầu) yêu cầu khoảng 4,1 lít/phút/m² đối với bọt AFFF tiêu chuẩn, hoặc khoảng 6,5 lít/phút/m² đối với bọt protein truyền thống.

Với lưu lượng $Q = 6000$ lít/phút, dùng foam AFFF (ứng dụng ~4,1 lít/phút/m²), diện tích phủ bọt lý thuyết đạt:

$$A_{AFFF} = \frac{Q}{4,1} \approx 1460 \text{ m}^2 \quad (6.17)$$

Điều này có nghĩa là trong 1 phút, lăng giá 6000 lít/phút có khả năng trải một lớp bọt dày lên khoảng 900–1500 m² bề mặt cháy, tùy loại foam. Trong thực tế, để dập tắt hoàn toàn, thường phun liên tục 5–10 phút, nên tổng diện tích bao phủ có thể gấp nhiều lần con số trên (đảm bảo phủ đi phủ lại tạo lớp bọt dày).

Ngoài diện tích mặt phẳng, lẫn trên nóc xe còn có tầm với không gian đáng kể: phun cao 20 m cho phép bao phủ sườn của bồn chứa xăng dầu cao tầng hoặc tường nhà xưởng. Bọt có thể bám dính lên bề mặt thẳng đứng ở khoảng cách xa, tạo màn bọt bảo vệ kết cấu khỏi bức xạ nhiệt. Tầm phun xa 85 m giúp xe đậu ở khoảng cách an toàn (ngoài vùng nguy hiểm nổ nhiệt) mà vẫn đưa được foam tới đám cháy. Bán kính 85 m tạo ra vùng phủ hình tròn đường kính ~170 m quanh xe.

Tuy nhiên, vùng phủ hiệu quả thực tế còn phụ thuộc vào góc phun và kỹ thuật thao tác. Để bao phủ diện tích lớn, thường xoay ngang lăng phun để quét tia bọt qua lại trên bề mặt đám cháy. Góc mở tia phun (khi chỉnh về chế độ phun sương) cũng ảnh hưởng: mở rộng góc tia sẽ tăng bề rộng quét nhưng giảm tầm xa. Do đó, chiến thuật tối ưu là phun thẳng tia xa vào tâm điểm rồi chuyển sang quét ngang, kết hợp điều chỉnh góc để bọt rơi trải đều. Nhờ khả năng xoay và điều chỉnh góc linh hoạt, lăng giá nóc có thể phủ bọt đồng đều trên toàn bộ đám cháy diện rộng khi được vận hành hợp lý.

Lăng phun cố định 6000 Lít/phút trên nóc xe có vùng phủ bọt lớn, đủ khả năng khống chế các đám cháy tràn xăng dầu hay cháy kho bãi diện tích hàng ngàn mét vuông. Khả năng này đáp ứng yêu cầu bao phủ vùng rộng bằng foam của đề bài, góp phần dập tắt nhanh đám cháy và ngăn cháy lan.

6.5.8. Lựa chọn vị trí lắp đặt lăng phun cố định và lăng cầm tay

Vị trí lăng cố định trên nóc: Lăng phun foam cố định được lắp ở trung tâm nóc xe, ngay phía sau cabin (hoặc trên nóc khoang bơm) để có tầm hoạt động bao quát nhất. Vị trí này cao hơn mặt đất ~3–3,5 m (tùy chiều cao xe), cho phép phun foam xuống các mục tiêu thấp một góc thuận lợi và phun lên cao cũng đạt độ cao tối đa. Đặt lăng gần cabin giúp người điều khiển (từ trong cabin hoặc bảng điều khiển bên hông) dễ quan sát hướng phun về phía trước. Đồng thời, kết cấu khung nóc tại điểm này thường chắc chắn (vì sát vách cabin và gia cố bởi khung sắt xi), đủ chịu lực phản lực khi phun. Lăng được gắn trên bộ xoay có đế gia cố, phân bố tải trọng đều lên nóc bồn chứa. Ngoài ra, vị trí trung tâm giúp góc xoay 360° của lăng không bị vướng bởi các thiết bị khác trên nóc.

xe. Phía trước lăng thường không có vật cản để phun thẳng; các phía xung quanh nếu cần có thể hạn chế góc xoay về sau cabin để tránh phun vào chính xe.

Vị trí các lăng cầm tay: Các xuất vòi phun cầm tay được bố trí dọc hai bên hông xe, tập trung ở khu vực ngăn bơm và sau xe:

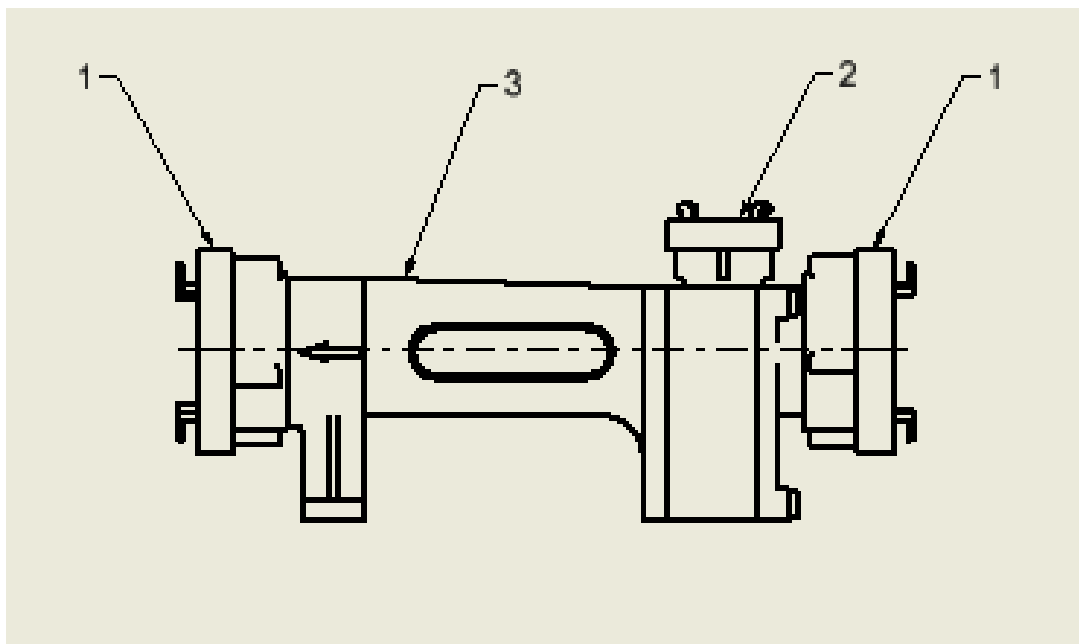
Mỗi bên hông tại phía đuôi xe lắp 3 vòi, thuận tiện cho đội viên thao tác mở van lấy nước/foam. Độ cao lắp đặt các họng vòi khoảng 1,0–1,2 m tính từ mặt đất, tương đương tầm eo – vai của người trưởng thành, giúp việc thao tác nối vòi và mang vác dễ dàng, giảm mệt mỏi. Các vòi cầm tay khi không sử dụng được gác trên giá hoặc cuộn gọn trong ngăn, sẵn sàng rút ra.

Cách bố trí trên đảm bảo phân bố đều quanh xe: bất kỳ hướng nào quanh xe cũng có ít nhất một vòi cầm tay có thể vươn tới. Đội chữa cháy có thể đứng trải rộng hai bên và phía sau xe, tạo vòng cung phun bọt bao quanh đám cháy. Đồng thời, nếu tác chiến một hướng, có thể tập trung nhiều vòi bên đó (ví dụ 3 vòi bên trái) để tăng lưu lượng tổng tại hướng đó. Về an toàn, các vị trí lắp đặt được chọn sao cho tránh vướng thiết bị khác (thang, hộp dụng cụ) và lối đi trên xe; đầu nối vòi có nắp đậy chống bụi nước khi không dùng.

Như vậy, vị trí lắp đặt lăng cố định và lăng cầm tay đã được lựa chọn tối ưu xét theo tầm hiệu quả và thuận tiện thực tế. Lăn trên nóc xe đặt cao, trung tâm để tối đa hóa phạm vi phun và độ ổn định. Các lăng cầm tay bố trí trải dọc hai bên, đảm bảo mọi góc độ quanh xe đều được bao phủ và cho phép triển khai nhanh trong tình huống khẩn cấp.

6.6. Hệ thống chia tỷ lệ nước/bọt

6.6.1. Cấu tạo bộ chia tỷ lệ nước/bọt



Hình 6.8. Bộ chia tỷ lệ nước/bọt

1 - Khớp nối đường ống nước; 2 - Khớp nối đường ống bọt; 3 - Vỏ bộ chia.

6.6.2. Nguyên lý hoạt động

Hệ thống chia tỷ lệ nước/bọt sử dụng một bộ trộn hỗn hợp lắp ở phía phun ra của bơm. Nước được bơm từ bơm ly tâm qua đường ống nước vào cửa vào chính của bộ trộn. Bọt cô đặc được bơm từ bơm bọt thông qua một van điều chỉnh áp lực tới cửa vào bên hông bộ trộn. Bên trong bộ trộn, bọt cô đặc tạo thành một lớp màng, nước đi qua lớp màng bọt tạo thành hỗn hợp nước/bọt đi ra khỏi bộ trộn và đi vào đường ống dẫn tới lăng phun.

6.6.3. Thiết kế bộ chia tỷ lệ bọt cân bằng áp lực AFFF 3% cho hệ thống xe chữa cháy



Hình 6.9. Bộ chia tỷ lệ bọt cân bằng áp lực (balanced pressure proportioner) dùng trong hệ thống chữa cháy foam.

a. Hệ thống lăng phun cố định.

Tính lưu lượng bọt cần thiết: Với tỷ lệ pha bọt 3%, công thức pha trộn là: mỗi 100 đơn vị dung dịch foam bao gồm 97 đơn vị nước và 3 đơn vị bọt. Do đó lưu lượng bọt Q_f cần thiết là :

$$Q_f = \frac{3}{97} Q_w = 0,0309.Q_w \quad (6.18)$$

Với $Q_w = 6000$ (lít/phút)

$$Q_f = \frac{3}{97} Q_w = 0,0309.6000 \approx 186 \text{ (lít/phút)}$$

Tuy nhiên ta chọn bơm bọt công suất 300 lít/phút (thực tế sử dụng ~62% công suất) để có độ dư, đảm bảo khả năng đáp ứng lưu lượng và áp lực yêu cầu. Áp suất làm việc của bơm bọt được điều chỉnh sao cho áp suất trên đường ống bọt bằng gần với áp suất nước (khoảng 10 bar) để đạt cân bằng áp lực tại bộ chia (bộ cân bằng áp lực).

Phương pháp pha trộn (Balanced pressure): Do có bơm bọt riêng, hệ thống chọn bộ chia tỷ lệ cân bằng áp lực (balanced pressure proportioner). Thiết bị này điều chỉnh lưu lượng bọt và nước để đảm bảo áp suất bọt cao hơn áp suất nước ban đầu và tự động

cân bằng qua van màng, tạo tỷ lệ pha chính xác. Phương thức này cho phép tỷ lệ pha ổn định bất chấp dao động lưu lượng/nước. Hình ảnh dưới đây minh họa bộ chia tỷ lệ kiểu cân bằng áp lực (balanced pressure proportioner) thường dùng trong các hệ thống chữa cháy foam hiện đại

Tính toán đường kính ống: Vận tốc dòng nước trong ống dẫn khoảng 3–5m/s (để tổn hao áp lực hợp lý). Dùng công thức:

$$A = \frac{Q_w}{v} \quad (6.19)$$

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad (6.20)$$

Với $Q_w = 6000 \text{ l / phut} \approx 0,1 \text{ m}^3 / \text{s}$, $v = 3 \div 4 \text{ m/s}$

$$A = \frac{6000}{3 \div 4} = 0,025 \div 0,033 \text{ m}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot (0,025 \div 0,033)}{\pi}} = 0,178 \div 0,206 \text{ m}$$

Vì vậy đường ống thực tế cần khoảng 178–206 mm. Ta chọn DN180 (180 mm) làm đường ống chính cấp nước, tương ứng $v \approx 2 \text{ m/s}$ (dưới giới hạn $\leq 10 \text{ m/s}$ theo khuyến nghị thiết kế hệ thống chữa cháy).

Tương tự, đường ống foam cần vận tốc nhỏ ($\sim 2\text{--}3 \text{ m/s}$): với $Q_f = 186 \text{ Lít/phút}$ ($\approx 3,1 \text{ L/s}$) và $v \approx 3 \text{ m/s}$, ta có $D \approx 0,036 \text{ m}$ (36 mm). Ta chọn ống DN60 (60 mm) cho đường bọt ($v \approx 2,4 \text{ m/s}$).

Tổn thất áp lực và áp suất làm việc: Áp suất đầu ra của máy bơm nước là 10 bar, áp suất foam phải bằng hoặc nhỉnh hơn để bơm foam vào. Với ống bọt ngắn, tổn thất áp lực không lớn. Đảm bảo áp suất tại đầu bộ chia áp lực (pilot) cân bằng khoảng 10 bar. Các tổn thất áp lực trên ống nước DN180 và ống bọt DN40 được tính theo công thức Hazen-Williams^[51] cho ống thép, nhưng vì lưu lượng lớn nên đã chọn D lớn để tổn thất nhỏ.

Kiểm tra yêu cầu tiêu chuẩn: Theo NFPA 11^[39], hệ thống tỉ lệ bọt phải đảm bảo tỉ lệ pha chính xác (3% với sai số không quá +1% / -0%) và phải kiểm tra định kỳ. Ta đạt được 3% $\pm 0.09\%$ trong tính toán và chọn bơm dư công suất, nên có độ chính xác cao. Bộ chia tỷ lệ và áp kế kiểm tra áp suất được lắp đặt đầy đủ, đáp ứng yêu cầu "được kiểm tra ít nhất mỗi năm".

b. Hệ thống lăng phun di động

Tính lưu lượng bọt cần thiết: Tương tự, với tỷ lệ 3%, ta có:

$$Q_f = \frac{3}{97} Q_w \quad (6.21)$$

Với $Q_w = 667 \text{ l / phut}$

$$Q_f = \frac{3}{97} \cdot 667 = 20,6 \text{ Lít/phút}$$

Hệ thống lăng di động (monitor di động) trên xe cứu hỏa thường có bơm nước tích hợp và có thể dùng bộ chia cân bằng áp lực hoặc bộ chia tỷ lệ phun (nozzle ratio controller) đơn giản. Tuy nhiên do có bơm bọt riêng, ta vẫn áp dụng bộ chia cân bằng áp lực. Đối với lưu lượng nhỏ, cũng có thể dùng bộ chia đặt ở gần lăng phun di động. Tương tự, cần đảm bảo áp suất foam đầu vào ≈ 10 bar để cân bằng với nước. Bộ chia tỷ lệ đảm bảo lưu lượng foam ~ 20 Lít/phút để đạt 3%

Tính toán đường kính ống:

Với $Q_f = 667 \text{ l / phút} \approx 0,01111 \text{ m}^3 / \text{s}$, $v = 3 \div 4 \text{ m/s}$

$$A = \frac{666,666}{3 \div 4} = 0,0037 \div 0,069 \text{ m}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot (0,0037 \div 0,069)}{\pi}} = 0,059 \text{ m}$$

Đường kính gần nhất chọn DN65 (≈ 70 mm) hay DN2½ ($\approx 63,5$ mm). Chọn DN65 giúp $v \approx 2,5$ m/s; DN50 (50 mm) thì $v \approx 3.36$ m/s cũng được chấp nhận. Giả sử chọn DN2½ (63,5 mm) cho đường nước lăng di động ($v \approx 3.5$ m/s). Đường foam: với $Q_f \approx 20,6$ Lít/phút ($\approx 0,000343 \text{ m}^3/\text{s}$) và $v \approx 3$ m/s, $D \approx 0,0119$ m (~ 12 mm). Ta chọn ống DN15 (≈ 15 mm) cho đường foam, cho $v \approx 2.4$ m/s.

Áp suất làm việc: Nước vẫn ở 10 bar; foam cần áp suất gần tương đương để bơm vào bộ chia. Tổn thất áp lực trên đoạn ống ngắn rất nhỏ. Đảm bảo áp suất tại lăng phun $\geq$ áp suất tối thiểu theo dữ liệu nhà sản xuất lăng (thường $\sim 8\text{--}10$ bar để đạt tầm phun hiệu quả).

Thông số thực tế vs chọn: Thực tế: $Q_n \approx 667$ Lít/phút, $Q_f \approx 20,6$ Lít/phút, áp suất 10 bar. Chọn: ống nước DN65 (70 mm, v 2,5–3,5 m/s), ống foam DN15 (15 mm, $v \sim 2,4$ m/s), bơm foam 300 Lít/phút.

Mặc dù hệ lưu lượng nhỏ, tỉ lệ pha 3% vẫn phải chính xác. Việc chọn bơm lớn và ống foam đủ kích thước đảm bảo lưu lượng kiểm soát tốt. Theo NFPA 11^[39], tỉ lệ pha $3\% \pm 1\%$; ta đạt khoảng 3.08% ($\frac{20.6}{667}$) $\sim 3\%$. Mỗi năm cần kiểm tra hệ thống và điều chỉnh nếu cần.

6.7. Mô phỏng hệ thống hoạt động của bọt chữa cháy bằng Automation Studio

6.7.1. Mục tiêu mô phỏng

Việc xây dựng mô hình mô phỏng hệ thống trộn foam chữa cháy bằng phần mềm Automation Studio 7.0 Professional nhằm mục đích:

Đánh giá tính đúng đắn trong thiết kế sơ đồ nguyên lý hệ thống cấp foam chữa cháy thông qua việc mô phỏng hoạt động thực tế trên nền tảng phần mềm kỹ thuật số.

Phân tích nguyên lý hoạt động của từng cụm chức năng, đặc biệt là quá trình pha trộn giữa nước và chất tạo bọt (foam) theo tỷ lệ định trước.

Xác định các thông số vận hành cơ bản như lưu lượng dòng chảy, áp suất tại các điểm đo, tốc độ đáp ứng của các van điều khiển, và khả năng vận hành ổn định khi chuyển đổi giữa các chế độ hoạt động.

Tạo điều kiện để thực nghiệm và quan sát hiệu quả vận hành của hệ thống trong các trường hợp giả định như mất nguồn foam, quá áp cục bộ, rửa đường ống, hoặc chỉ sử dụng nước.

Làm cơ sở để đánh giá tính khả thi và độ tin cậy của thiết kế khi ứng dụng thực tế vào các loại xe chữa cháy sử dụng hệ thống lăng phun foam cố định.

6.7.2. Cấu hình mô phỏng hệ thống

Hệ thống mô phỏng bao gồm đầy đủ các thành phần chức năng được triển khai trên phần mềm Automation Studio như sau:

Bảng 6.4.Cấu hình mô phỏng của hệ thống

Thành phần	Thông số kỹ thuật
Bồn chứa nước	Dung tích: 2500 lít
Bồn chứa foam	Dung tích: 6500 lít
Bơm ly tâm cấp nước	Lưu lượng định mức: 10.000 lít/phút
Bơm cấp foam	Lưu lượng định mức: 300 lít/phút
Tỷ lệ pha trộn bọt	Foam: 3%, Nước: 97%
Van điện từ điều khiển	Van 2/2 NC, điều khiển tay
Van relief	Áp suất mở: 10 bar
Số lượng lăng đầu ra	6 lăng chia thành 3 cụm: trái, phải, giá

6.7.3. Nguyên lý hoạt động của từng cụm chức năng

a. Cụm bồn chứa và bơm cấp nguồn

Bồn chứa nước và bồn chứa foam được đặt làm nguồn cấp chính cho hệ thống. Mỗi bồn được nối với một bơm riêng biệt:

Bơm ly tâm hút nước từ bồn nước, cung cấp lưu lượng lớn (10.000 lít/phút) phù hợp với nhiệm vụ phun chữa cháy quy mô lớn.

Bơm foam là loại bơm bánh răng hoặc piston nhỏ, có lưu lượng 300 lít/phút, đảm nhiệm đưa chất tạo bọt từ bồn foam vào hệ thống trộn.

Lưu lượng của hai bơm được cấu hình sao cho đảm bảo tỷ lệ 3% foam – 97% nước tại điểm trộn.

b. Cụm trộn và chia tỷ lệ foam

Quá trình trộn được thực hiện bằng thiết bị chia tỷ lệ (proportioner). Trong mô hình, chức năng này được thể hiện bằng một điểm nối giữa hai dòng (foam và nước), có thể thêm orifice hoặc flow restrictor để điều chỉnh lưu lượng foam chính xác hơn.

Khi hai bơm hoạt động đồng thời:

- Nước và foam được trộn tại điểm giao
- Dòng hỗn hợp này sau đó được dẫn tới các cụm van và đầu phun

Nếu bơm foam dừng hoặc bị ngắt, dòng nước vẫn có thể đi qua hệ thống, chuyển sang chế độ phun nước hoàn toàn.

c. Cụm điều khiển dòng và phân phối

Sau quá trình trộn, dòng foam sẽ đi qua hệ thống van điện từ điều khiển dòng chảy. Các van này:

Là loại 2/2 NC solenoid, mặc định đóng, chỉ mở khi được cấp điện

Được chia thành 3 cụm van tương ứng với các nhóm lăng:

- Cụm lăng trái (3 lăng)
- Cụm lăng phải (2 lăng)
- Cụm lăng trên giá cố định (1 lăng)

d. Van hồi áp (Relief Valve)

Để bảo vệ hệ thống khỏi hiện tượng quá áp (do tắc nghẽn đường ống, lỗi van đóng...), hệ thống được trang bị van relief tại đầu ra của bơm nước.

Van được cấu hình với ngưỡng áp suất mở: 10 bar

Khi áp vượt quá, van sẽ tự động mở để xả áp về bồn nước, tránh hư hỏng bơm hoặc vỡ đường ống.

e. Cảm biến và đầu ra lăng

Mỗi nhánh lăng đều có thể gắn cảm biến áp suất hoặc lưu lượng để đánh giá hiệu quả đầu ra. Lăng phun mô phỏng được thể hiện bằng orifice hoặc valve mở ra khí quyển, cho phép đo tốc độ dòng ra.

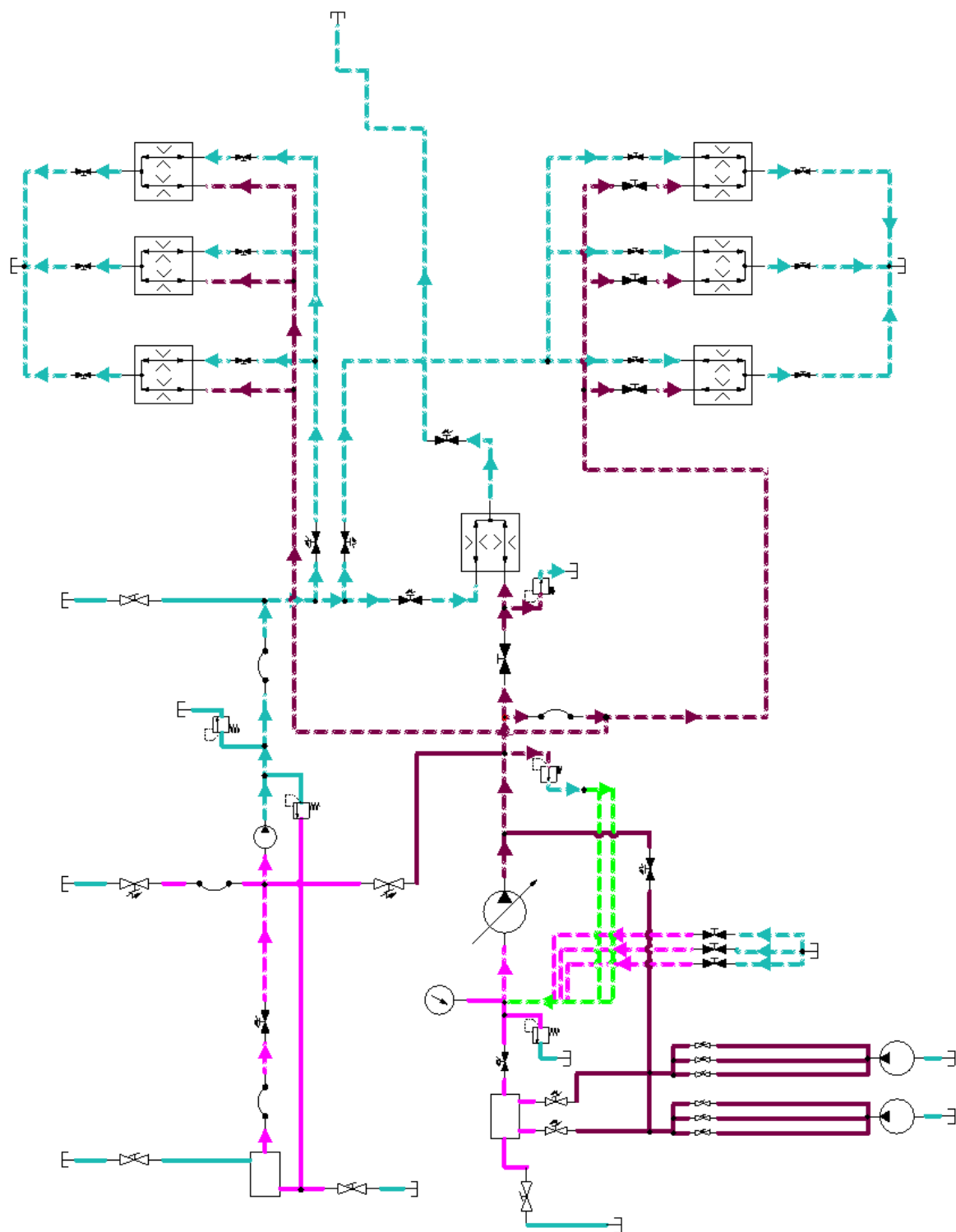
f. Các chế độ vận hành của hệ thống mô phỏng

❖ Chế độ vận hành chuẩn

Bơm nước và bơm foam hoạt động đồng thời.

Dòng foam được trộn đúng tỷ lệ 3%.

Van điều khiển các cụm lăng được bật theo yêu cầu chiến thuật.



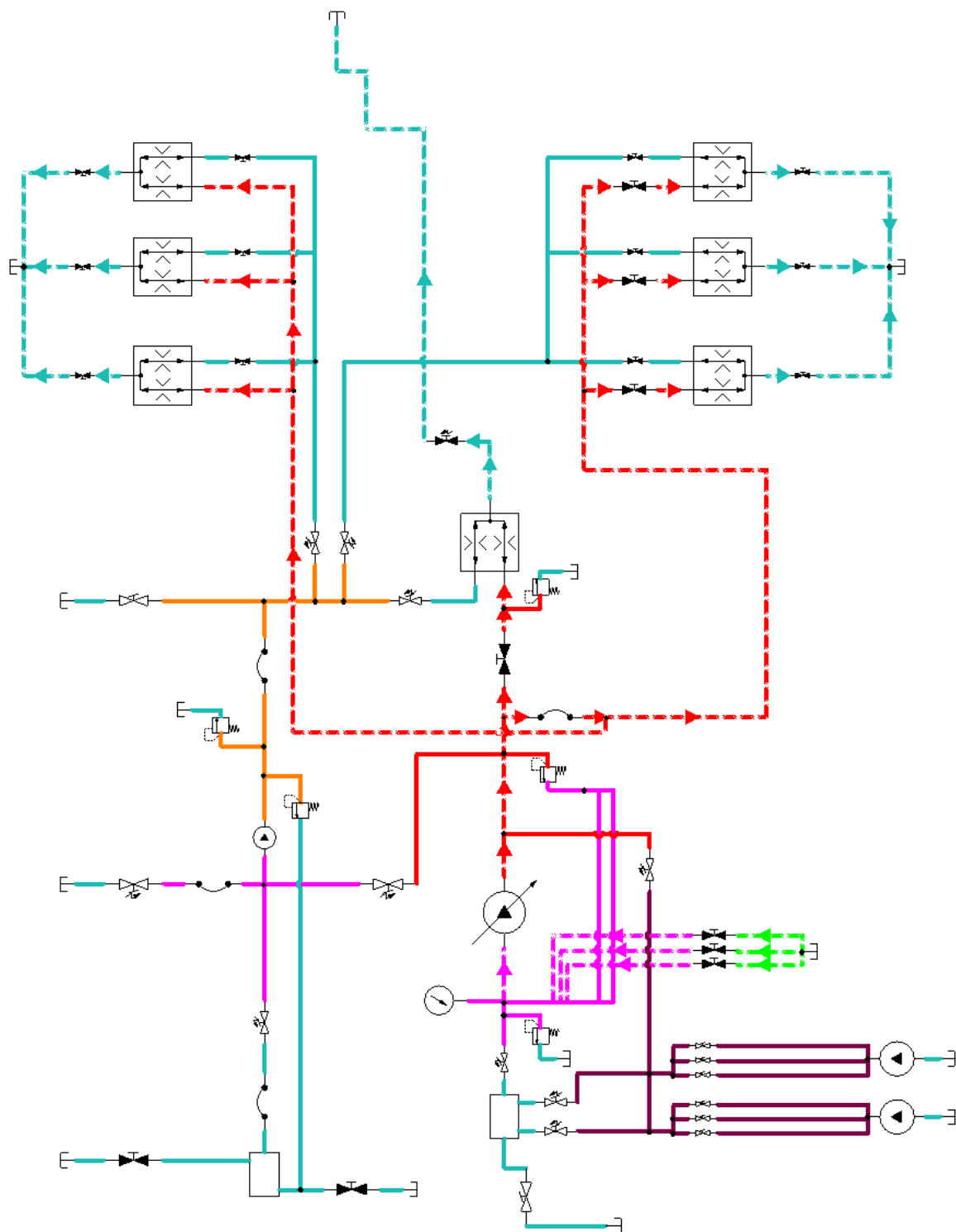
Hình 6.10. Hoạt động trong điều kiện bình thường.

❖ Chế độ ngắt foam

Bơm foam dừng hoạt động.

Dòng nước vẫn tiếp tục cấp cho lăng, chuyển sang chế độ phun nước hoàn toàn.

Dùng trong trường hợp foam hết hoặc cần tiết kiệm tài nguyên.



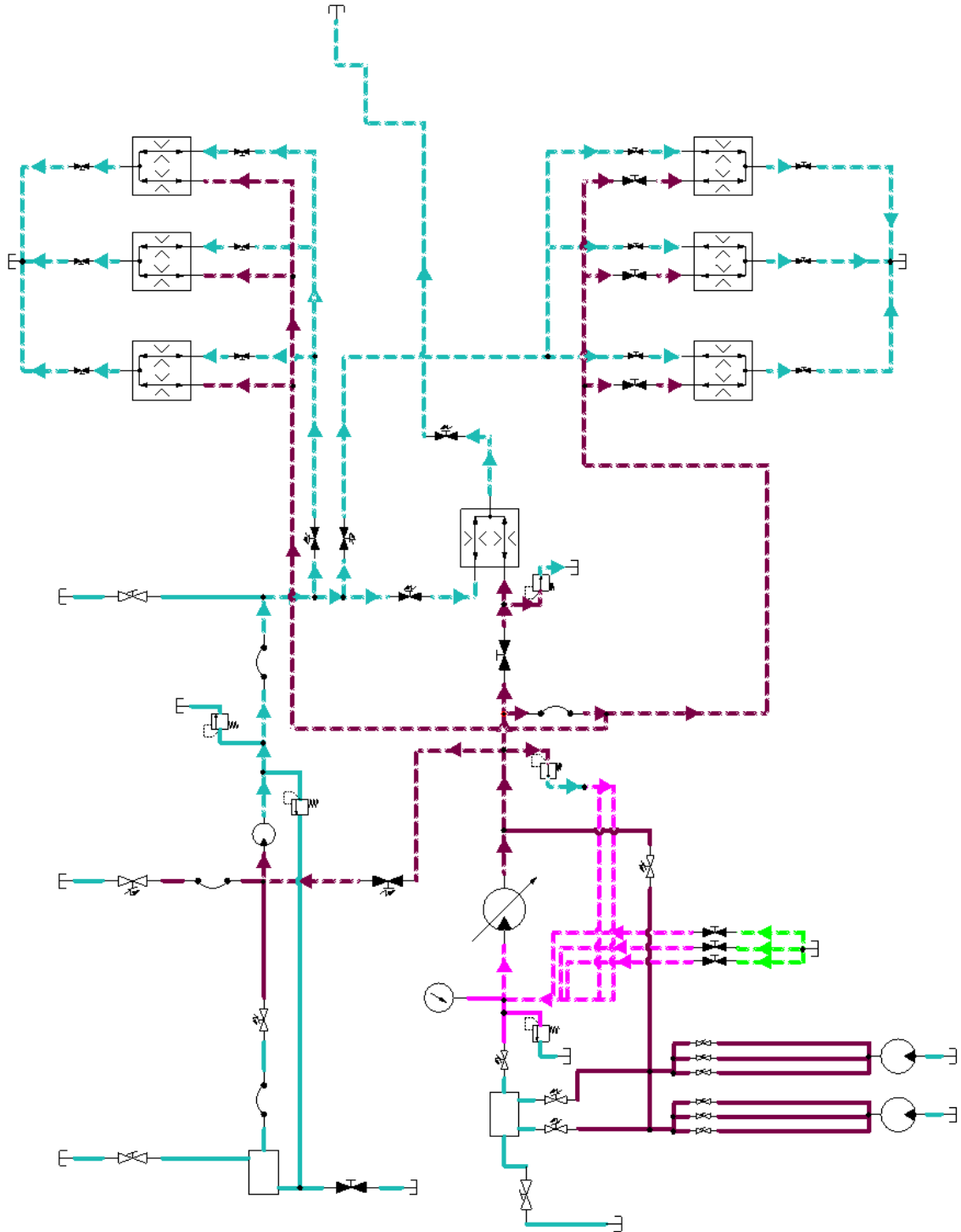
Hình 6.11. Chế độ hoạt động phun hoàn toàn khi ngắt bọt.

❖ Chế độ rửa đường ống

Sau khi ngắt foam, chỉ bơm nước vận hành.

Mở toàn bộ van đến các lăng để xả toàn bộ hỗn hợp còn trong ống.

Tránh đông tụ hoặc tắc nghẽn trong đường ống do dư lượng foam.



Hình 6.12. Xịt rửa đường ống bằng nước.

❖ **Chế độ hồi áp (an toàn)**

Nếu hệ thống bị tắc lãng hoặc đóng tất cả van mà bơm vẫn hoạt động.

Áp suất tăng vượt ngưỡng 10 bar → van relief mở, hồi dòng về bồn nước.

Bảo vệ an toàn cho hệ thống và thiết bị.

6.7.4. Nhận xét và đánh giá mô phỏng

Qua quá trình mô phỏng, hệ thống cho thấy khả năng:

- Phối hợp tốt giữa hai dòng nước và foam theo đúng tỷ lệ thiết kế.
- Vận hành linh hoạt, thay đổi được giữa các chế độ khác nhau.
- Các van điều khiển phản ứng nhanh, dễ thao tác.
- Hệ thống xả áp hoạt động ổn định, giúp đảm bảo an toàn.

Kết quả mô phỏng là cơ sở để khẳng định thiết kế sơ đồ nguyên lý là đúng đắn, khả thi và có thể triển khai trên thực tế.

Chương 7: THIẾT KẾ HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN

Trong chương này, hệ thống điều khiển van bướm điều tiết lưu lượng cho lăng phun tự động sẽ được thiết kế chi tiết, từ mô hình tổng thể đến cấu trúc tín hiệu điều khiển và chế độ vận hành. Trọng tâm của chương là xây dựng giải pháp điều khiển phù hợp với điều kiện thực tế của hệ thống, đảm bảo khả năng phản hồi nhanh, vận hành linh hoạt và an toàn tuyệt đối trong các tình huống khẩn cấp.

Nội dung chương bao gồm: lựa chọn cấu hình PLC điều khiển, phân tích và mô tả các tín hiệu vào/ra, xây dựng thuật toán điều khiển cho hai chế độ (Manual và Auto), các điều kiện an toàn và phản ứng hệ thống khi xảy ra lỗi. Ngoài ra, chương cũng trình bày sơ đồ kết nối phần cứng giữa PLC và các thiết bị ngoại vi, nhằm hoàn chỉnh toàn bộ kiến trúc điều khiển của hệ thống.

Việc thiết kế hệ thống điều khiển đóng vai trò quan trọng trong việc hiện thực hóa phương án đã lựa chọn ở các chương trước, đồng thời đảm bảo hệ thống phun nước/bọt trên xe cứu hỏa hoạt động chính xác, hiệu quả và đáng tin cậy trong mọi tình huống.

7.1. Hệ thống điều khiển logic khả trình Programmable Logic Controller (PLC)

7.1.1. Định nghĩa

PLC (Programmable Logic Controller) hay còn gọi là bộ điều khiển lập trình logic, là một thiết bị điện tử được sử dụng trong các hệ thống tự động hóa công nghiệp để điều khiển máy móc và các quá trình sản xuất. Nó thay thế các hệ thống điều khiển dựa trên rơ le và các thiết bị điện tử khác, mang lại hiệu quả cao hơn nhờ vào khả năng lập trình linh hoạt và dễ dàng thay đổi khi cần thiết.

7.1.2. Cấu tạo^[19]

Bộ điều khiển PLC được cấu thành từ nhiều thành phần khác nhau, giúp đảm bảo hoạt động ổn định và hiệu quả của hệ thống điều khiển. 5 thành phần chính bao gồm:

CPU (Central Processing Unit): Đây là bộ phận quan trọng nhất của PLC, chịu trách nhiệm xử lý tất cả các dữ liệu và thực hiện các lệnh logic theo chương trình đã được lập trình.

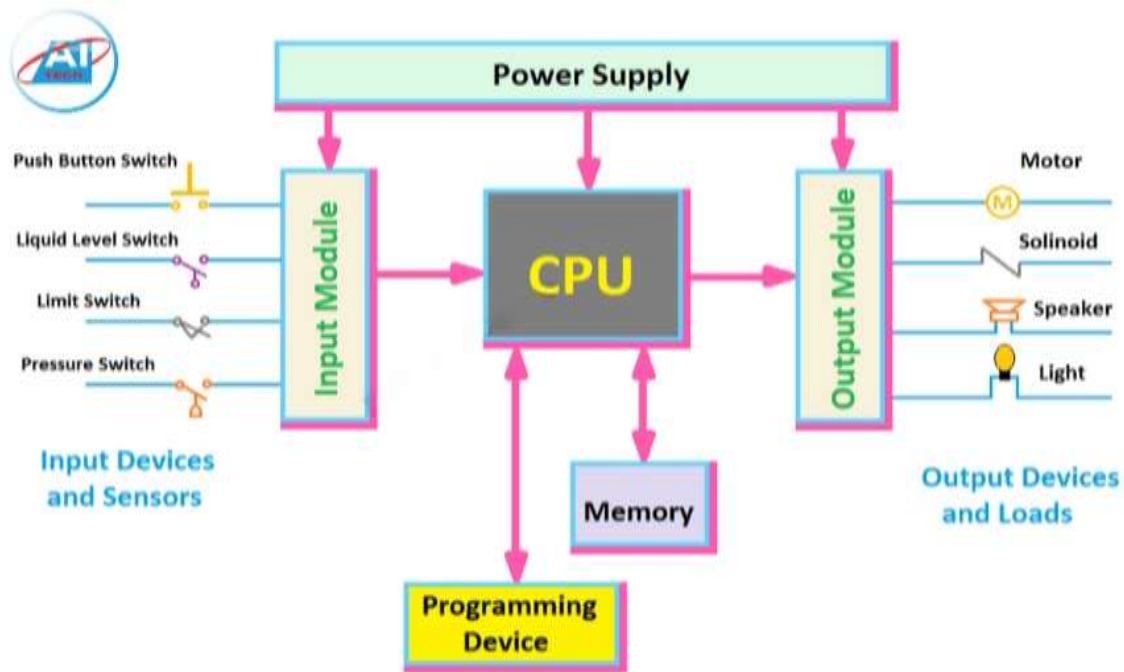
Module Input/Output (I/O): PLC cần phải giao tiếp với các thiết bị bên ngoài thông qua các module I/O. Module Input nhận tín hiệu từ các cảm biến và thiết bị ngoại vi khác, Còn Module Output sẽ gửi tín hiệu điều khiển đến các thiết bị như động cơ, van, rơ le, và các thiết bị thực thi khác.

Nguồn cấp: Cung cấp điện cho CPU, các module I/O và các thiết bị ngoại vi khác. Để đảm bảo hoạt động liên tục và ổn định, các hệ thống PLC thường sử dụng nguồn cấp dự phòng hoặc các hệ thống UPS (Uninterruptible Power Supply) để tránh gián đoạn trong trường hợp mất điện.

Bộ nhớ: Bộ nhớ của PLC được chia thành nhiều loại, trong đó có bộ nhớ chương trình (Program Memory) và bộ nhớ dữ liệu (Data Memory). Bộ nhớ chương trình lưu trữ các lệnh và chương trình điều khiển, trong khi bộ nhớ dữ liệu lưu trữ các giá trị biến

số và thông tin trạng thái hệ thống. Tùy thuộc vào yêu cầu ứng dụng, PLC có thể sử dụng các loại bộ nhớ khác nhau như RAM, ROM, hay EEPROM.

Các giao thức kết nối và truyền thông: PLC cần giao tiếp với các thiết bị khác trong hệ thống thông qua các giao thức truyền thông như Modbus, Profibus, Ethernet/IP, hoặc CAN bus. Các giao thức này cho phép PLC truyền và nhận dữ liệu từ các thiết bị ngoại vi, các hệ thống SCADA, hoặc các hệ thống điều khiển phân tán (DCS).



Hình 7.1. Cấu tạo bộ điều khiển PLC.

7.1.3. Phân loại bộ điều khiển PLC

PLC có thể được phân loại theo nhiều tiêu chí khác nhau, từ kích thước, cấu trúc, đến ứng dụng cụ thể trong công nghiệp. Dưới đây là 3 loại PLC phổ biến nhất:

PLC Compact: Đây là loại PLC được thiết kế với tất cả các thành phần (CPU, I/O, nguồn cấp) tích hợp trong một khối duy nhất. PLC compact thường được sử dụng trong các ứng dụng nhỏ và đơn giản, nơi không cần số lượng lớn các đầu vào và đầu ra. PLC compact có ưu điểm là dễ dàng cài đặt và chi phí thấp, nhưng hạn chế ở khả năng mở rộng và tính linh hoạt so với các loại PLC modular.

PLC Modular: Loại PLC này được thiết kế với các module rời, cho phép mở rộng và tùy chỉnh hệ thống theo nhu cầu cụ thể. Mỗi module đảm nhận một chức năng cụ thể, như CPU, I/O, hoặc các module truyền thông. PLC modular thích hợp cho các hệ thống lớn và phức tạp, nơi cần số lượng lớn I/O và khả năng mở rộng cao. Ưu điểm của loại này là khả năng mở rộng linh hoạt và dễ dàng nâng cấp, nhưng chi phí thường cao hơn so với PLC compact.

PLC Rack-mounted: Đây là một biến thể của PLC modular, trong đó các module được gắn trên một giá đỡ (rack) chung. Các module có thể dễ dàng thêm hoặc thay thế mà không cần phải tắt hệ thống, giúp giảm thiểu thời gian ngừng hoạt động và tăng tính linh hoạt trong bảo trì.

7.1.4. Nguyên lý hoạt động^[19]

Trong hệ thống điều khiển tự động, bộ lập trình logic khả trình (PLC) vận hành dựa trên một nguyên tắc cơ bản gọi là chu trình quét (Scan Cycle). Đây là một chu trình xử lý khép kín, được lặp lại liên tục với tốc độ cao nhằm đảm bảo khả năng phản ứng nhanh và chính xác với mọi thay đổi trong môi trường vận hành.

Chu trình Scan Cycle bao gồm bốn bước chính, được thực hiện theo một trình tự tuần hoàn. Đầu tiên, PLC tiến hành quét và thu thập dữ liệu đầu vào từ các thiết bị ngoại vi. Các tín hiệu này có thể đến từ cảm biến, công tắc hành trình, công tắc áp suất, cảm biến mức hoặc các thiết bị đo lường khác. Tùy thuộc vào loại module I/O được cấu hình, dữ liệu có thể ở dạng số (digital) hoặc tương tự (analog). Giai đoạn này đảm bảo PLC có được thông tin cập nhật nhất về trạng thái hiện tại của hệ thống.

Tiếp theo, PLC chuyển sang giai đoạn xử lý dữ liệu. Tại đây, bộ xử lý trung tâm (CPU) thực hiện các lệnh điều khiển theo chương trình đã được lập trình sẵn bởi người dùng. Việc xử lý có thể bao gồm các thao tác logic, tính toán toán học, so sánh giá trị, hoặc thực hiện các điều kiện điều khiển phức tạp. Mọi quyết định điều khiển đều được đưa ra tại bước này, dựa trên dữ liệu đầu vào đã được thu thập trước đó.

Sau khi hoàn thành quá trình xử lý, PLC cập nhật trạng thái cho các thiết bị đầu ra. Các tín hiệu điều khiển sẽ được gửi từ module output đến các thiết bị thực thi như van điện từ, động cơ điện, rơ-le hoặc đèn cảnh báo. Điều này giúp hệ thống thực hiện các hành động cần thiết, phản ánh đúng kết quả xử lý và logic điều khiển đã định nghĩa trong chương trình.

Cuối cùng, PLC tiến hành kiểm tra tổng thể và chuẩn bị lặp lại chu trình quét từ đầu. Giai đoạn này, thường được gọi là housekeeping, bao gồm các tác vụ kiểm tra hệ thống, quản lý bộ nhớ, cập nhật trạng thái hệ thống và sẵn sàng cho chu trình tiếp theo. Toàn bộ quá trình này được thực hiện một cách liên tục, với thời gian quét mỗi chu trình thường rất ngắn – chỉ tính bằng vài mili giây – giúp PLC phản ứng nhanh chóng với mọi thay đổi của hệ thống điều khiển.

Tốc độ và độ tin cậy của chu trình Scan Cycle đóng vai trò then chốt trong việc đảm bảo hiệu quả hoạt động của hệ thống điều khiển. Một PLC có chu kỳ quét càng nhanh thì càng có khả năng phát hiện và phản hồi kịp thời với các tình huống phát sinh trong thực tế, đặc biệt trong các ứng dụng đòi hỏi độ chính xác và an toàn cao như hệ thống chữa cháy tự động, dây chuyền sản xuất, hay các hệ thống điều khiển van điện.

7.1.5. Ưu nhược điểm của Bộ điều khiển PLC

Ưu Điểm Của PLC

PLC được thiết kế với mục tiêu đơn giản hóa quá trình lập trình và triển khai trong các ứng dụng công nghiệp. Với độ bền cao, tốc độ xử lý nhanh, giao diện người dùng trực quan và các ngôn ngữ lập trình dễ tiếp cận như Ladder Logic, PLC giúp các kỹ sư dễ dàng phát triển, kiểm tra và duy trì hệ thống hoạt động ổn định.

Ngoài ra so với hệ thống DCS và PAC, PLC thường có chi phí đầu tư ban đầu thấp hơn, đặc biệt là cho các hệ thống quy mô nhỏ hoặc trung bình. Điều này làm cho PLC trở thành giải pháp kinh tế cho nhiều doanh nghiệp.

Nhược Điểm Của PLC

PLC thường không phù hợp cho các ứng dụng điều khiển quá phức tạp hoặc yêu cầu xử lý dữ liệu lớn, với trường hợp này thì DCS hoặc PAC có thể cung cấp hiệu suất tốt hơn. Trong các hệ thống đòi hỏi tính toán và điều khiển cao, PLC có thể gặp hạn chế về khả năng và tài nguyên.

PLC chủ yếu được thiết kế cho các ứng dụng điều khiển rời rạc và trung tâm. Trong khi đó, DCS vượt trội hơn khi cần quản lý và điều khiển nhiều quy trình từ một trung tâm điều khiển phân tán, đặc biệt là trong các nhà máy quy mô lớn với các quy trình liên tục.

7.2. Tính toán van điều tiết lưu lượng lăng phun tự động

Van điều khiển sử dụng trong hệ thống là **van bướm DN125** điều khiển bằng motor điện (Motor Operated Valve - MOV). Van có nhiệm vụ điều tiết lưu lượng nước/bọt trước khi đi vào lăng phun tự động.

Van DN125 được lựa chọn với vật liệu gang dẻo, đĩa inox và gioăng EPDM để đảm bảo độ bền trong môi trường nước, bọt và áp suất cao (10 bar).

Van được điều khiển bởi PLC thông qua tín hiệu analog 4–20mA, cho phép điều chỉnh góc mở theo yêu cầu thực tế, giúp tối ưu hiệu suất phun cũng như tiết kiệm lưu lượng khi không cần thiết phun tối đa.

7.2.1. Tổn thất áp suất:

$$\Delta P = K \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} \quad (7.1)$$

Trong đó:

ΔP : Tổn thất áp suất (Pa)

ρ : Khối lượng riêng của nước/bọt ($\sim 1000 \text{ kg/m}^3$)

K : Hệ số trở lực của van (phụ thuộc vào loại van và góc mở)

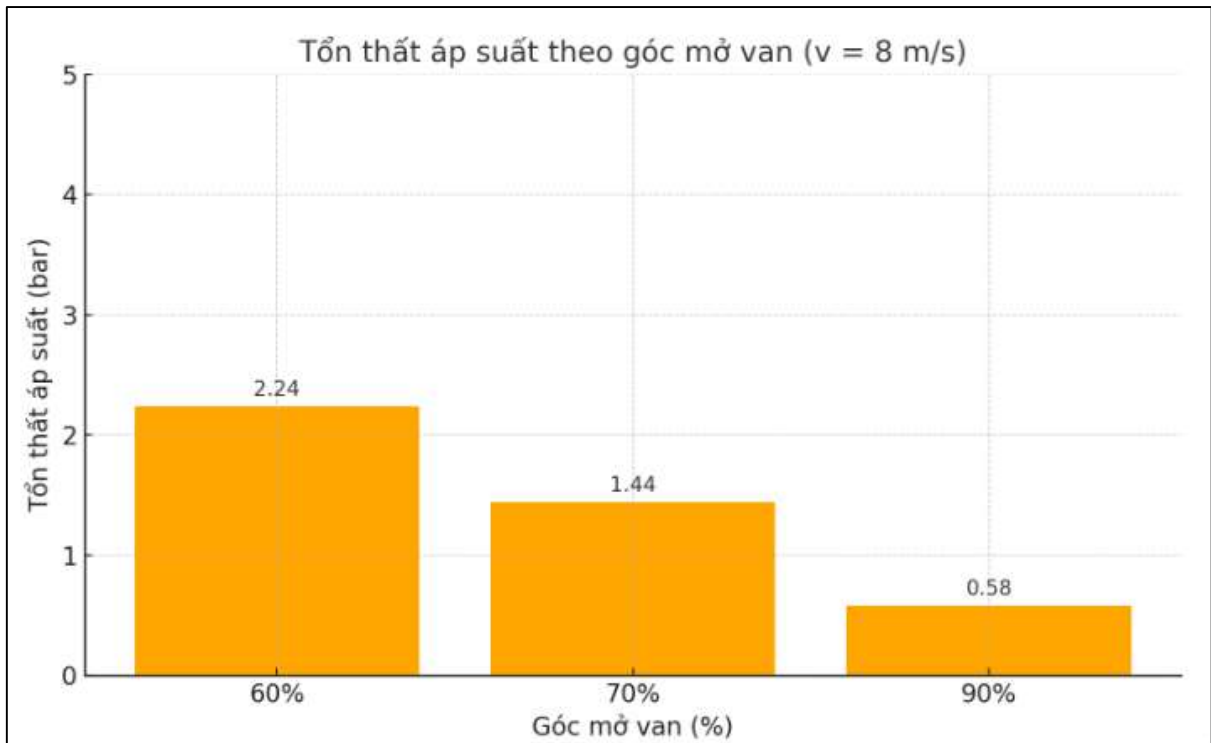
v : Vận tốc dòng chảy qua van (m/s)

$$\text{Mức mở van 60\% (K=7):} \quad \Delta P = K \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} = 7 \cdot \frac{1000 \cdot 8^2}{2} = 2,24(\text{bar}) \quad (7.2)$$

$$\text{Mức mở van 70\% (K=4,5):} \quad \Delta P = K \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} = 4,5 \cdot \frac{1000 \cdot 8^2}{2} = 1,44(\text{bar})$$

$$\text{Mức mở van 90\% (K=1,8):} \quad \Delta P = K \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} = 1,8 \cdot \frac{1000 \cdot 8^2}{2} = 0,58(\text{bar})$$

Lưu ý: K tăng rất nhanh khi góc mở nhỏ hơn 60% nên tổn thất áp sẽ lớn, vì dòng bị cản mạnh do tiết diện hẹp.



Hình 7.2. Biểu đồ tổn thất áp suất theo góc mở van.

7.2.2. Tổn thất lưu lượng

Thông số đầu vào:

Lưu lượng danh định $Q_0 = 6000l / ph$

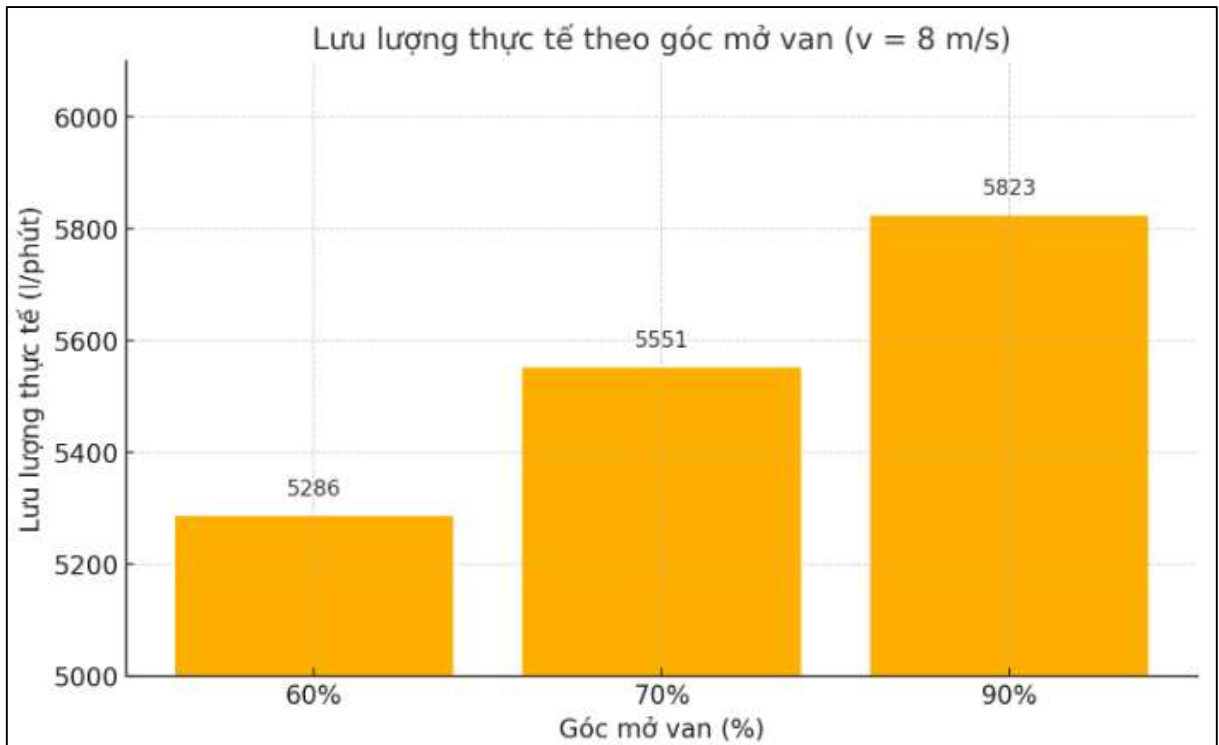
Áp suất đầu bơm $P_0 = 10bar$

$$Q_1 = Q_0 \cdot \sqrt{\frac{P_1}{P_0}} = Q_0 \cdot \sqrt{\frac{P_0 - \Delta P}{P_0}} \quad (7.3)$$

Mức mở van 50%: $Q_1 \approx 5285l / ph$

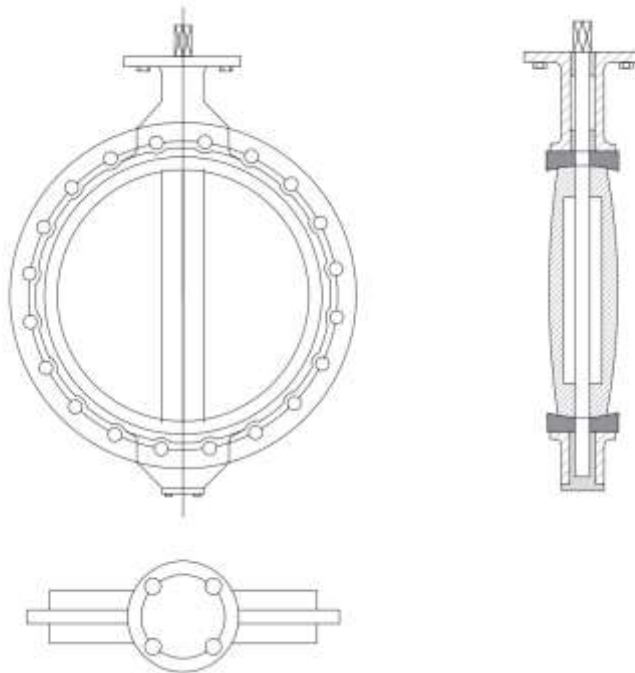
Mức mở van 70%: $Q_1 \approx 5551l / ph$

Mức mở van 90%: $Q_1 \approx 5823l / ph$



Hình 7.3. Biểu đồ lưu lượng thực tế theo góc mở van.

Tổn thất áp suất qua van ảnh hưởng trực tiếp đến lưu lượng thực tế cung cấp cho lăng phun. Với lưu lượng danh định là 6000 lít/phút, khi tổn thất áp suất tại các góc mở là 2.24 bar (60%), 1.44 bar (70%) và 0.58 bar (90%), lưu lượng thực tế chỉ còn lần lượt là 5285, 5551 và 5823 lít/phút. Điều này cho thấy, nên ưu tiên vận hành van ở góc mở từ 70% trở lên để duy trì lưu lượng gần với danh định và giảm thiểu tổn thất đáng kể.



Hình 7.4. Cổng van bướm.

7.2.3. Lựa chọn van thiết kế

Trong hệ thống điều khiển phun nước/bọt trên xe cứu hỏa, van điều khiển đóng vai trò quan trọng trong việc điều tiết lưu lượng chính xác đến lăng phun cố định. Dựa trên yêu cầu vận hành thực tế và thông số kỹ thuật của hệ thống, van được lựa chọn là **van bướm điều khiển bằng motor điện Honeywell – mã hiệu V4ABFW16-080-112**.

Van có đường kính danh định DN80, áp suất làm việc PN16, đáp ứng yêu cầu lưu lượng khoảng 3000 lít/phút tương đương với 180 m³/h. Theo datasheet, van có giá trị Kvs = 243 m³/h tại góc mở 90°, đảm bảo khả năng cấp lưu lượng vượt nhu cầu thiết kế, giúp hệ thống hoạt động ổn định trong các điều kiện khẩn cấp.

Bảng 7.1. Thông số kích thước van

PN	Size		A	B	C	D	L	H	ØK	ØE	n-Ød	Ød0	G		ØD2	N- Ø2		Weight (Kg)	
	DN	inch											Wafer	Lug		Wafer	Lug	Wafer	Lug
16	50	2"	130.5	67	43	52.7	15	11	65	50	4-7	14.3	118	159	125	4-Ø18	4-M16	2.5	3.8
	65	2.5"	140	71	46	64.3	15	11	65	50	4-7	14.3	137	184	145	4-Ø18	4-M16	3.2	4.2
	80	3"	150	83	46	78.6	15	11	65	50	4-7	14.3	143	197	160	8-Ø18	8-M16	3.6	4.7
	100	4"	183	95	52	104	15	11	65	50	4-7	15.8	156	222	180	8-Ø18	8-M16	4.9	9
	125	5"	178	110	56	123	29	14	90	70	4-10	18.9	190	254	210	8-Ø18	8-M16	7	10.9
	150	6"	191	124	56	155	29	14	90	70	4-10	18.9	212	292	240	8-Ø22	8-M20	7.8	14.2
	200	8"	239	163	60	202	29	17	90	70	4-10	22.1	268	349	295	12-Ø22	12-M20	13.2	18.2
	250	10"	285	227	68	250	39	22	125	102	4-12	28.5	325	413	355	12-Ø26	12-M24	19.2	26.8
	300	12"	315	252	78	301	39	22	125	102	4-12	31.6	403	483	410	12-Ø26	12-M24	32.5	40
	350	14"	368	267	78	333	45	22	175	140	4-18	31.6	436	527	470	16-Ø26	16-M24	41.3	56
	400	16"	400	309	102	356	45	27	175	140	4-18	33.2	488	584	525	16-Ø30	16-M27	61	96
	450	18"	422	328	114	440	45	27	210	165	4-22	38	539	635	585	20-Ø30	20-M27	79	122
25	500	20"	450	361	127	491	45	36	210	165	4-22	41.2	591	705	650	20-Ø33	20-M30	128	202
	600	24"	562	459	154	592	45	36	210	165	4-22	50.7	816	832	770	20-Ø36	20-M33	188	270
	50	2"	130.5	67	43	52.8	15	11	90	70	4-10	14.3	165	-	125	4-Ø18	4-M16	3.5	-
	65	2.5"	140	71	46	64.4	15	11	90	70	4-10	14.3	185	-	145	8-Ø18	8-M16	4.5	-
	80	3"	150	83	46	78.7	15	14	90	70	4-10	15.8	200	-	160	8-Ø18	8-M16	5.1	-
	100	4"	183	95	52	104.1	15	14	90	70	4-10	18.9	235	-	190	8-Ø23	8-M20	6.8	-
	125	5"	178	110	56	123.1	29	17	90	70	4-10	22.1	270	-	220	8-Ø27	8-M24	9.8	-
	150	6"	191	124	56	155.1	29	17	90	70	4-10	22.1	300	-	250	8-Ø27	8-M24	10.9	-
	200	8"	239	163	60	202.2	29	22	125	102	4-12	28.5	360	-	310	12-Ø27	12-M24	18.5	-
	250	10"	285	227	68	250.2	39	22	125	102	4-12	31.6	425	-	370	12-Ø30	12-M27	26.9	-
	300	12"	315	252	78	301.2	39	27	150	125	4-14	33.2	485	-	430	16-Ø30	16-M27	45.5	-

Van sử dụng bộ truyền động điện dạng tuyến tính (modulating actuator) điều khiển bằng tín hiệu analog 4–20mA hoặc 0–10V, tương thích với hệ thống điều khiển trung tâm PLC. Thiết bị cũng hỗ trợ tín hiệu phản hồi vị trí, phục vụ giám sát và điều khiển vòng kín trong trường hợp cần thiết. Thời gian mở/đóng của van khoảng 12 giây, phù hợp với yêu cầu phản hồi của hệ thống chữa cháy.

Về vật liệu chế tạo, thân van làm bằng gang xám GG25, đĩa van bằng gang cầu GGG40 phủ epoxy, trục bằng inox SS416, và lớp đệm làm kín bằng EPDM – đảm bảo độ bền cơ học, chống ăn mòn và thích hợp làm việc với chất lỏng là nước hoặc hỗn hợp nước–bọt. Đặc biệt, van đạt tiêu chuẩn IP67, cho phép lắp đặt trong môi trường ngoài trời, ẩm ướt và thường xuyên tiếp xúc với nước.

Từ các phân tích trên, có thể kết luận rằng van bướm điều khiển điện Honeywell V4ABFW16-080-112 hoàn toàn phù hợp để sử dụng trong hệ thống điều khiển lưu lượng của xe cứu hỏa, đảm bảo yêu cầu kỹ thuật về lưu lượng, áp suất, độ bền, khả năng điều khiển và mức độ an toàn.



Hình 7.5. Van bướm điều khiển điện Honeywell V4ABFW16-080-112.

7.3. Điều khiển cơ bản dành cho van

7.3.1. Giới thiệu cơ bản về module chữa cháy

Trong hệ thống điều khiển van cấp nước/bọt trên xe cứu hỏa, bộ điều khiển khả trình (PLC) được sử dụng là Mitsubishi FX Series, một trong những dòng PLC phổ biến và ổn định trong công nghiệp.

Bộ PLC này được lập trình để điều khiển van bướm điều khiển điện theo tín hiệu analog 4–20mA, có thể mở theo phần trăm góc tùy nhu cầu vận hành thực tế. Đặc biệt, thiết bị được thiết kế phù hợp để lắp đặt trên xe cơ động, có khả năng hoạt động ổn định trong môi trường có rung động, nhiễu điện từ hoặc điện áp cao.

Theo thông tin kỹ thuật từ nhà thiết kế xe, hệ thống PLC Mitsubishi FX trên xe đạt tiêu chuẩn chống nhiễu ISO 7637-2, đây là tiêu chuẩn dành cho thiết bị điện tử trên xe cơ giới, đảm bảo khả năng chống nhiễu điện áp đột biến từ hệ thống điện ắc quy, máy phát hoặc thiết bị công suất cao khác.

Lý do lựa chọn PLC Mitsubishi FX

Trong hệ thống điều khiển lưu lượng nước/bọt trên xe cứu hỏa, yêu cầu đặt ra đối với PLC là: hoạt động ổn định trong môi trường rung động, chịu được nhiễu điện áp, có kích thước nhỏ gọn, hỗ trợ tín hiệu analog, và lập trình linh hoạt. Dựa trên các tiêu chí đó, hệ thống sử dụng bộ điều khiển PLC Mitsubishi dòng FX – là dòng PLC phổ biến đến từ Nhật Bản, có độ ổn định cao, dễ tích hợp và chi phí hợp lý.

Ưu điểm

- Thiết kế gọn, chắc chắn, phù hợp cho môi trường lắp đặt trên xe cứu hỏa hoặc thiết bị di động.
- Tích hợp sẵn cổng I/O, hỗ trợ mở rộng analog, dễ dàng điều khiển các van tuyến tính như van bướm.

- Hỗ trợ tốt các chuẩn truyền thông (RS-485, Modbus RTU,...), dễ kết nối với HMI, cảm biến, thiết bị điều khiển khác.
- Chống nhiễu tốt, đặc biệt đạt tiêu chuẩn ISO 7637-2 – phù hợp lắp trên phương tiện cơ giới.
- Phần mềm lập trình GX Works2/3 dễ dùng, phổ biến tại Việt Nam, có nhiều thư viện mẫu.
- Giá thành hợp lý, dễ tìm linh kiện thay thế.

7.3.2. Cấu trúc hệ thống điều khiển

Bộ điều khiển PLC trung tâm: Mitsubishi Model FX.

Ngõ ra analog từ PLC: 0-10V hoặc 4-20mA.

Van bướm điều khiển điện MOV.

Nguồn cấp motor: 24V (2x12/220 Ah).

Cảm biến áp suất và cảm biến lưu lượng.

7.3.3. Nguyên lý hoạt động

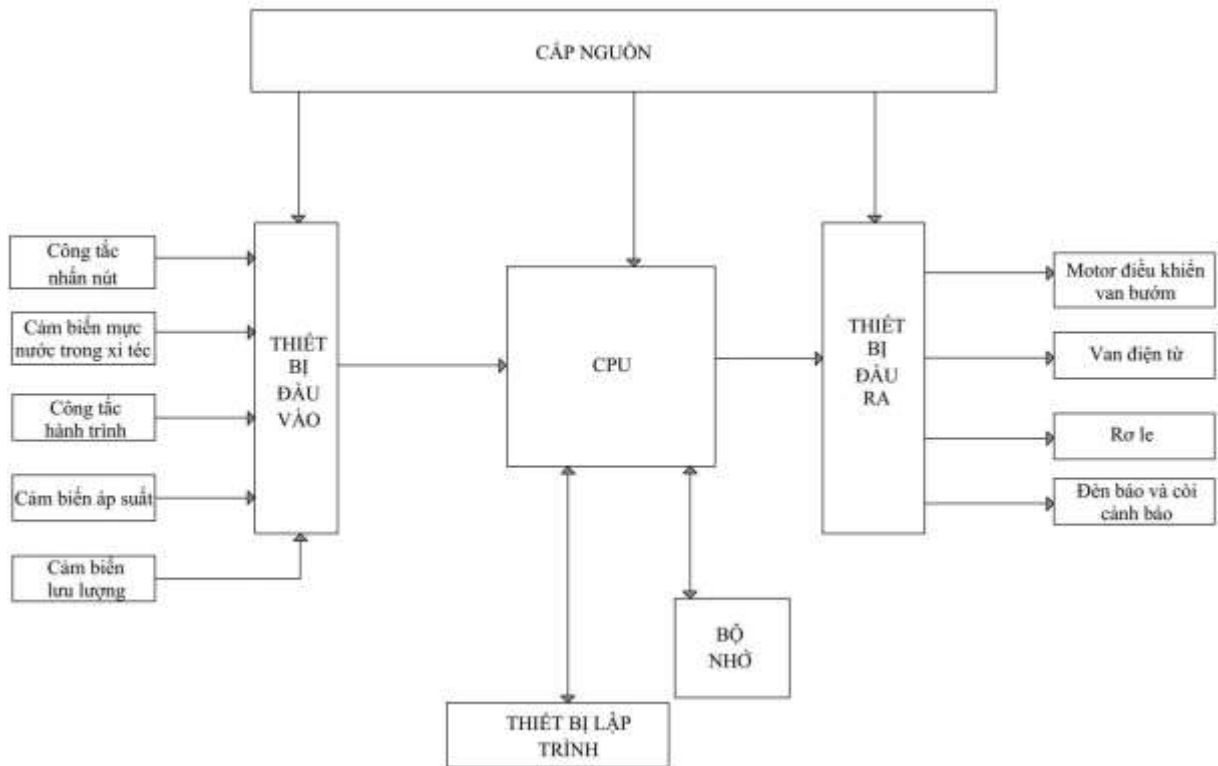
Hệ thống điều khiển van bướm trong xe cứu hỏa vận hành theo nguyên lý phản hồi tín hiệu từ các cảm biến đầu vào để điều khiển chính xác góc mở van nhằm điều tiết lưu lượng chất lỏng đến lăng phun. Toàn bộ quá trình bắt đầu khi cảm biến áp suất và cảm biến lưu lượng được lắp đặt ngay sau van, liên tục truyền dữ liệu thực tế về module đầu vào của PLC Mitsubishi FX.

CPU trong PLC xử lý tín hiệu đầu vào và so sánh với giá trị đặt trước (setpoint) về áp suất và lưu lượng. Khi nhận thấy lưu lượng thấp hơn yêu cầu (ví dụ: người vận hành đặt 3000 lít/phút nhưng chỉ đạt 2500 lít/phút), PLC sẽ xuất tín hiệu điều khiển analog (4–20mA hoặc 0–10V) đến motor điện điều khiển van bướm, yêu cầu tăng góc mở (ví dụ từ 50% lên 70%). Từ đó, lưu lượng sẽ được điều chỉnh tăng lên.

Cảm biến lưu lượng sẽ tiếp tục phản hồi giá trị mới về PLC để đóng vòng lặp điều khiển. Nếu lưu lượng đã đạt ngưỡng đặt (ví dụ 3000 lít/phút), van sẽ giữ nguyên vị trí. Nếu tiếp tục sai lệch, PLC sẽ tự điều chỉnh thêm để đạt lưu lượng tối ưu. Quá trình diễn ra liên tục, giúp đảm bảo lưu lượng thực tế khớp với yêu cầu vận hành tại lăng phun.

Bên cạnh đó, cảm biến áp suất cũng hoạt động đồng thời để giám sát áp suất đường ống. Nếu phát hiện áp suất vượt quá giới hạn an toàn (ví dụ >10 bar), PLC sẽ tự động đóng van hoặc ngắt tín hiệu điều khiển để tránh sự cố.

Hệ thống được lập trình các chức năng bảo vệ như: giám sát mất tín hiệu cảm biến, so sánh sai lệch vượt ngưỡng cho phép, cảnh báo lỗi trên HMI, và tự đưa van về trạng thái an toàn khi có bất thường. Nhờ đó, hệ thống vận hành ổn định, chính xác và tuyệt đối an toàn, ngay cả trong môi trường làm việc khắc nghiệt trên xe cứu hỏa.



Hình 7.6. Sơ đồ khối quá trình hoạt động sử dụng PLC.

7.4. Logic lập trình điều khiển van (Mitsubishi Model FX)^[20]

7.4.1. Các tín hiệu điều khiển trong hệ thống và vai trò

a. Tín hiệu ngõ vào (Input Signals)

Bảng 7.2. Tín hiệu ngõ vào

Tên tín hiệu	Kiểu tín hiệu	Vai trò
M0	Digital	Dữ liệu bit truyền xuống mô-đun điều khiển (ví dụ điều khiển IO analog).
M1	Digital	Kích hoạt mở van ở mức 70% (thủ công).
M2	Digital	Kích hoạt mở van ở mức 90% (thủ công).
M8000	Digital	Bit luôn ON khi PLC chạy – dùng để kích hoạt chu trình chính.
D100	Data Register	Giá trị góc mở đã tính toán và xử lý logic.
D200	Data Register	Giá trị chuyển đổi sang tín hiệu điều khiển analog 4–20mA.

b. Tín hiệu xử lý nội bộ trong PLC

Bảng 7.3. Tín hiệu xử lý nội bộ trong PLC

Tên biến	Kiểu dữ liệu	Vai trò
K2M100	M vector	Dữ liệu bit truyền xuống mô-đun điều khiển (ví dụ điều khiển IO analog).
K1M100	M vector	Đối tượng truyền tín hiệu điều khiển.
TO K0 K16	Câu lệnh đặc biệt	Gửi dữ liệu từ thanh ghi đến mô-đun analog output.
ADD K1600 K0 D100	Logic xử lý	Lệnh cộng để đặt giá trị 60%.
ADD K2000 K0 D100	Logic xử lý	Lệnh cộng để đặt giá trị 70%.
ADD K2800 K0 D100	Logic xử lý	Lệnh cộng để đặt giá trị 90%.
DIV D100 K200 D102	Logic xử lý	Chuyển đổi giá trị D100 sang giá trị phù hợp với dải analog 4–20mA.

c. Tín hiệu ngõ ra (Output Signals)

Bảng 7.4. Tín hiệu ngõ ra

Tên tín hiệu	Kiểu tín hiệu	Vai trò
DA1 (TO instruction)	Bit nội (Manual Select)	Kích hoạt chế độ mở van theo các mức: 60%, 70%, 90%.
TO K0 K16/K17	Câu lệnh giao tiếp	Gửi giá trị D102 ra mô-đun analog output bằng lệnh TO (Trans Output).

7.4.2. Logic điều khiển cơ bản

Trong chế độ vận hành bằng tay, toàn bộ quá trình điều khiển góc mở của van được thực hiện trực tiếp bởi người vận hành thông qua các nút nhấn hoặc giao diện HMI. Người dùng sẽ chọn trước một trong các mức mở van định sẵn (ví dụ: 60%, 70% hoặc 90%), phù hợp với tình huống cần điều tiết lưu lượng dòng chảy qua van tại hiện trường.

Khi người dùng kích hoạt nút nhấn điều khiển tương ứng với góc mở mong muốn, một tín hiệu số (bit logic) được truyền đến PLC. PLC sẽ xử lý tín hiệu này và gán một giá trị phần trăm tương ứng vào thanh ghi dữ liệu nội (ví dụ: 60% tương ứng giá trị 1600 trong đơn vị giả định). Giá trị này sau đó được chuyển đổi sang tín hiệu tương tự (analog)

nhờ lệnh lập trình nội tại, thường sử dụng hàm TO để xuất ra mô-đun điều khiển analog (DA), dưới dạng điện áp hoặc dòng điện (0–10V hoặc 4–20mA).

Tín hiệu analog sau khi được xuất ra sẽ điều khiển động cơ điện (motor) điều chỉnh van bướm đến đúng vị trí mở tương ứng. Vì hệ thống không sử dụng phản hồi từ cảm biến vị trí, nên toàn bộ điều khiển dựa trên nguyên lý điều khiển theo lệnh gửi đi, mà không kiểm tra lại trạng thái van sau khi thực hiện.

Ưu điểm của chế độ này là đơn giản, dễ lập trình và phù hợp với môi trường vận hành không yêu cầu độ chính xác cao. Người dùng có thể chủ động kiểm soát lượng chất lỏng qua van theo cảm nhận thực tế hoặc theo kinh nghiệm. Tuy nhiên, do không có phản hồi từ cảm biến, chế độ điều khiển này không đảm bảo tuyệt đối về độ chính xác vị trí van sau khi mở, và không thích hợp cho các tình huống cần giám sát liên tục hoặc tự động hiệu chỉnh theo áp suất và lưu lượng thực tế.

7.4.3. Thuật toán điều khiển van bướm bằng PLC

Bước 0: Khởi tạo hệ thống

Khi PLC bắt đầu chạy, bit hệ thống M8000 luôn ở trạng thái ON để duy trì hoạt động của toàn bộ chương trình. Giá trị mặc định của thanh ghi D100 được đặt là 0, tương ứng với van đóng hoàn toàn. Hệ thống sẽ đợi tín hiệu từ người vận hành thông qua các nút nhấn điều khiển trên HMI hoặc bảng điều khiển.

Bước 1: Lựa chọn góc mở van

Người vận hành lựa chọn một trong ba mức mở cố định của van thông qua các nút nhấn, được gán với ba bit nội (internal bits):

- Nhấn nút M0 chọn mở 60%
- Nhấn nút M1 chọn mở 70%
- Nhấn nút M2 chọn mở 90%

Bước 2: Gán giá trị tương ứng

Khi một trong các nút nhấn được kích hoạt, chương trình sẽ ghi một giá trị tương ứng vào thanh ghi D100, cụ thể như sau:

- M0 = ON, D100 = 1600 (đại diện 60%)
- M1 = ON, D100 = 2000 (đại diện 70%)
- M2 = ON, D100 = 2800 (đại diện 90%)

Đây là các giá trị tiền xử lý, có đơn vị quy đổi theo thang giả định.

Bước 3: Xử lý tín hiệu analog

Giá trị tại D100 sẽ được chia cho hằng số K200, kết quả đưa vào D102, là giá trị dòng điện cần xuất ra mô-đun điều khiển analog (DA).

Từ đó, dòng điện tương ứng xuất ra sẽ là:

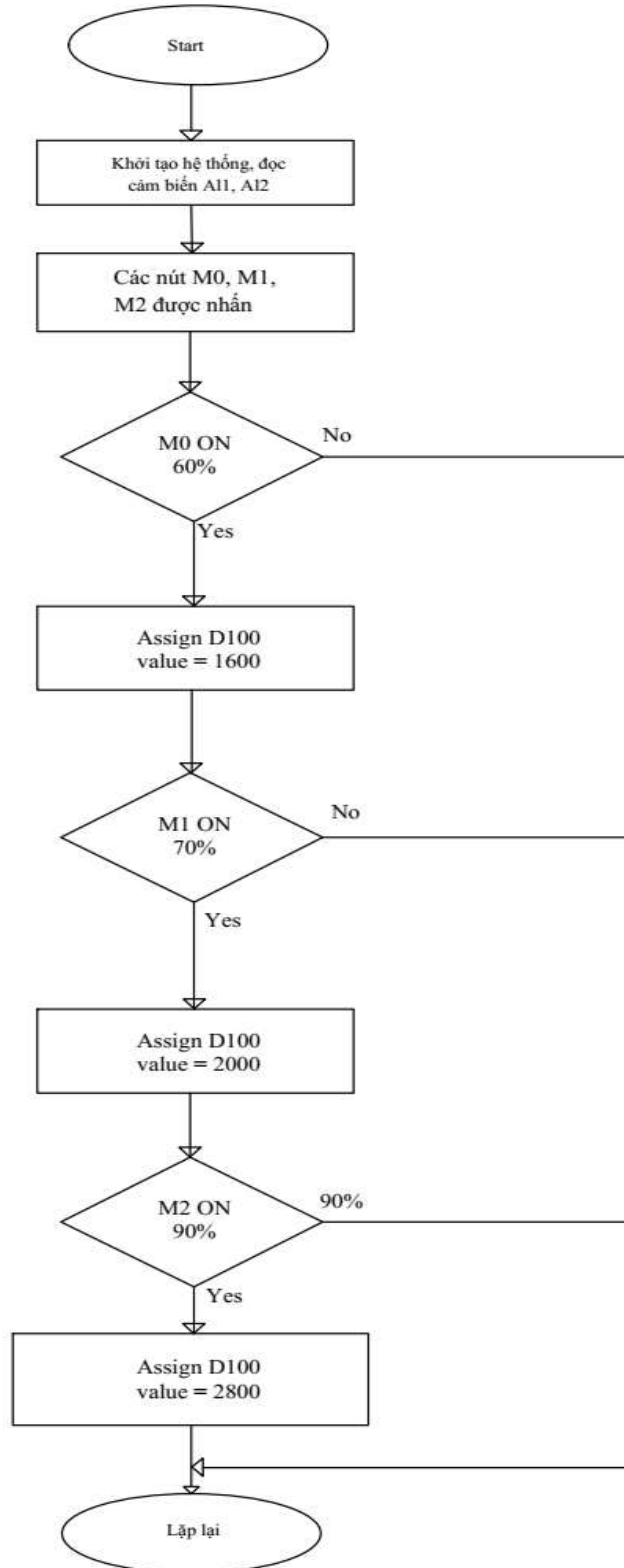
- 1600: D102 = 8 tương ứng 13.6 mA
- 2000: D102 = 10 tương ứng 15.2 mA
- 2800: D102 = 14 tương ứng 18.4 mA

Bước 4: Xuất tín hiệu điều khiển

Tín hiệu analog từ D102 sẽ được truyền đến kênh analog output (DA) thông qua lệnh lập trình

Bước 5: Hiển thị và giám sát

Giá trị phần trăm mở van, cũng như dòng điện tương ứng (4–20mA), được hiển thị trên HMI bằng thanh ghi D100 và D102. Người vận hành có thể giám sát trạng thái trực tiếp trên màn hình. Ngoài ra, nếu lập trình thêm các đèn báo M200–M203, có thể hiển thị trực quan trạng thái đang mở ở mức nào.



Hình 7.7. Sơ đồ thuật toán.

7.4.4. Lập trình trên GX Works2^[53]

Trong thiết kế và triển khai hệ thống điều khiển tự động, đặc biệt là trong các ứng dụng đòi hỏi độ ổn định và tính phản hồi tức thời như hệ thống điều khiển phun bọt nước trên xe cứu hỏa, việc lựa chọn phần mềm lập trình phù hợp với dòng PLC sử dụng đóng vai trò then chốt. Trong đề tài này, hệ điều khiển sử dụng PLC dòng FX của Mitsubishi, và phần mềm được lựa chọn để lập trình là GX Works2 – một trong những môi trường phát triển chính thức và chuyên nghiệp do Mitsubishi Electric phát hành.

GX Works2 là phần mềm lập trình tiêu chuẩn cho các dòng PLC MELSEC FX series và L series, cung cấp khả năng lập trình bằng ba ngôn ngữ theo chuẩn quốc tế IEC 61131-3: Ladder Diagram (LD), Instruction List (IL), và Structured Text (ST). Trong đó, Ladder Diagram là ngôn ngữ được sử dụng chính trong đề tài do đặc tính trực quan, dễ kiểm soát logic, dễ kiểm tra lỗi và phù hợp với sinh viên hoặc kỹ sư làm việc với các hệ thống công nghiệp cơ bản.

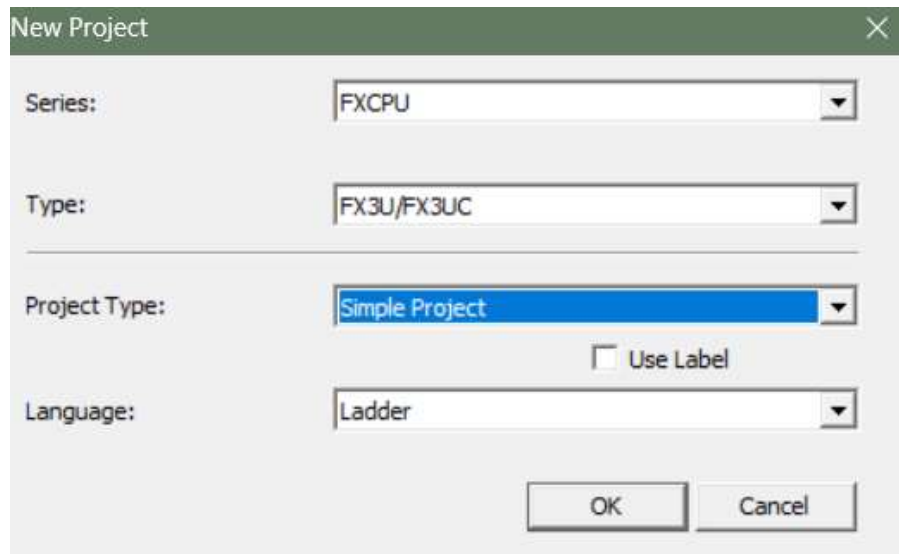
Một trong những lý do chính để lựa chọn GX Works2 là tính tương thích hoàn toàn với các thiết bị phần cứng của Mitsubishi, từ PLC, module I/O mở rộng đến các thiết bị điều khiển truyền thông, servo hoặc biến tần. Điều này giúp quá trình kết nối, cấu hình địa chỉ, truyền tín hiệu và theo dõi trạng thái hệ thống được thực hiện nhanh chóng, chính xác và đáng tin cậy.

GX Works2 cũng cung cấp giao diện trực quan, hỗ trợ thiết lập và mô phỏng offline, cho phép người lập trình kiểm tra logic điều khiển, trạng thái thiết bị, biến nội và đầu ra trước khi triển khai thực tế. Nhờ đó, các lỗi logic hoặc thiết kế sai có thể được phát hiện sớm, hạn chế tối đa rủi ro trong quá trình vận hành hệ thống thật.

Về mặt độ tin cậy và hiệu suất, GX Works2 cho phép lập trình với độ chính xác từng bước lệnh, hỗ trợ debug trực tiếp trên PLC đang hoạt động mà không cần dừng toàn hệ thống. Với khả năng giao tiếp thời gian thực, người dùng có thể giám sát giá trị thanh ghi, thay đổi thông số vận hành, chẩn đoán lỗi tức thì và phản ứng linh hoạt với các tình huống bất thường. Điều này đặc biệt quan trọng trong các hệ thống điều khiển phục vụ cứu hỏa, nơi thời gian và độ chính xác trong phản ứng là yếu tố sống còn.

Không những thế, phần mềm còn hỗ trợ người dùng tổ chức chương trình theo cấu trúc module (Program Organization Unit – POU), thuận tiện cho việc mở rộng, phân tích, hoặc bảo trì về sau.

a. Set các giá trị đặt

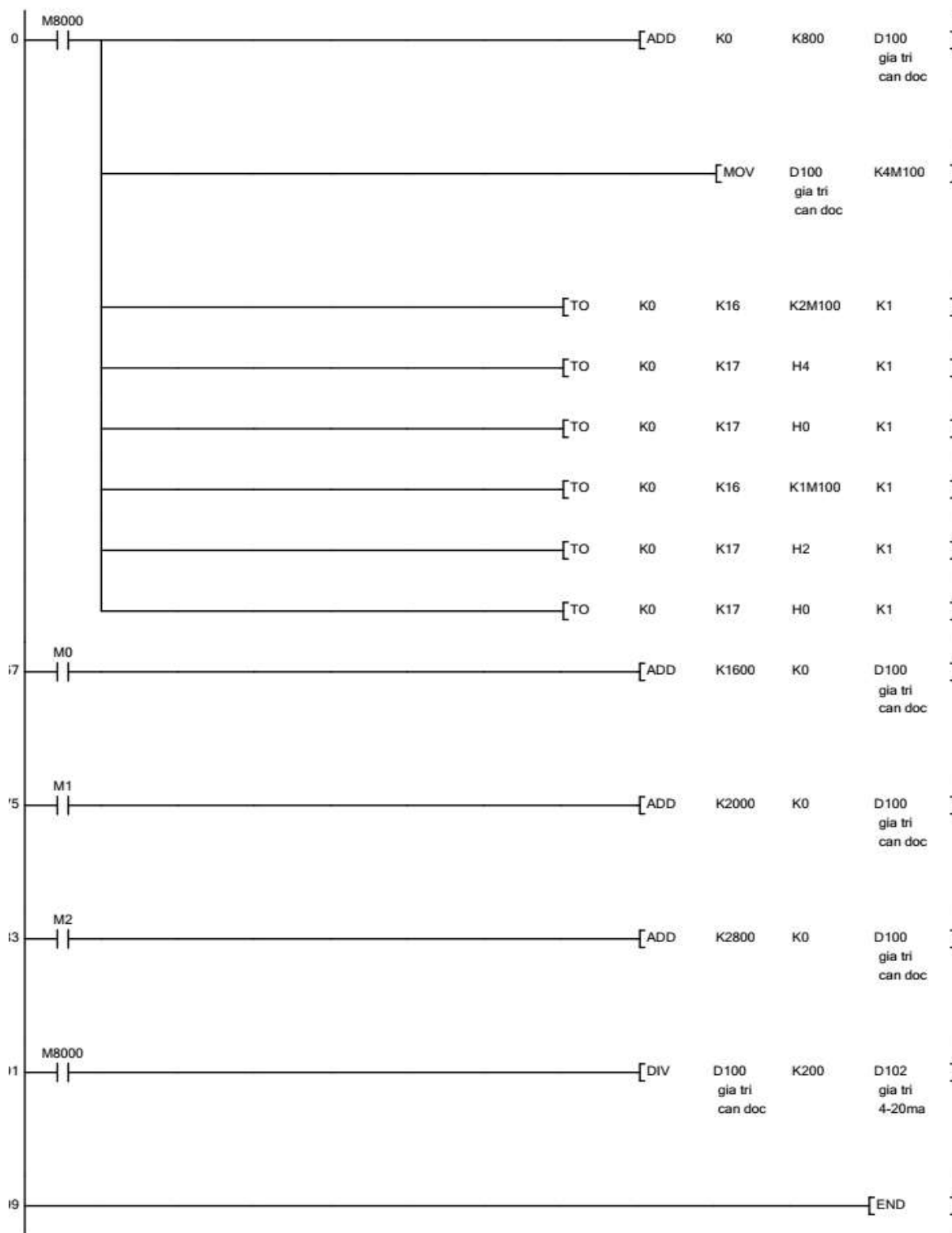


Hình 7.8. Nhập module, type module và ngôn ngữ lập trình cho PLC.

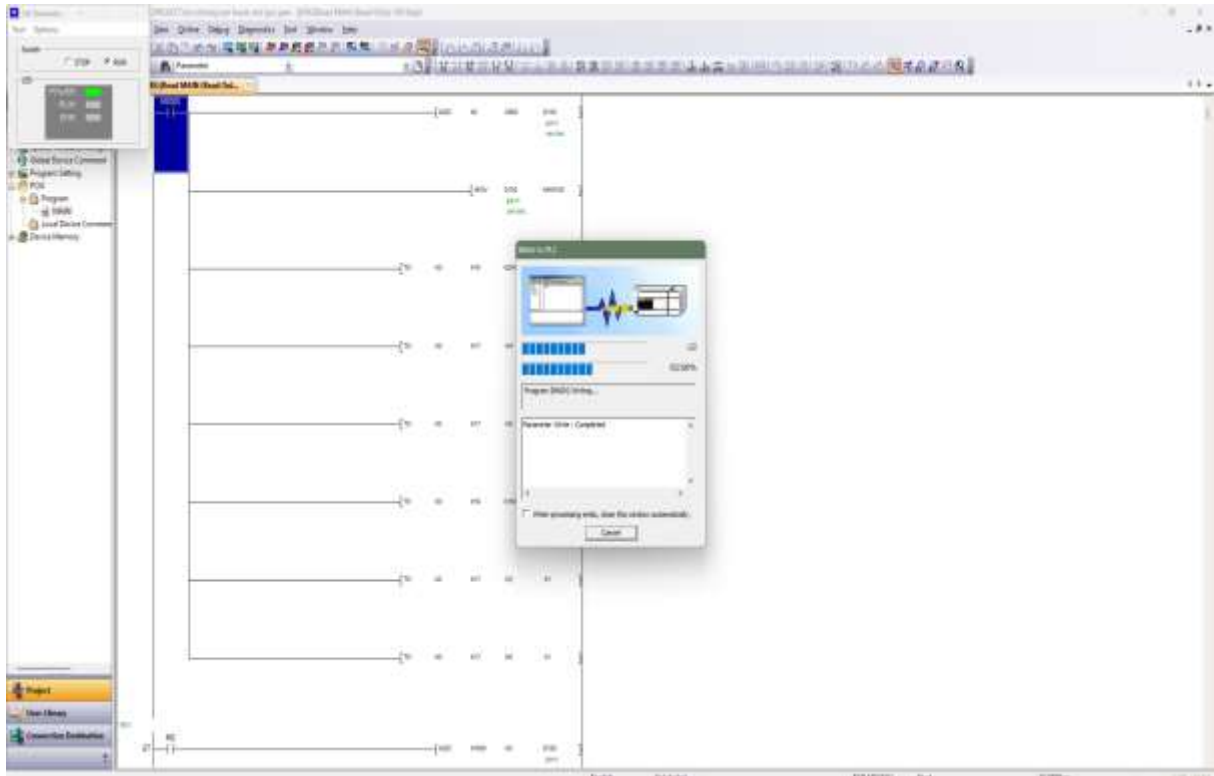
b. Mục tiêu của logic

Chương trình được viết trong môi trường GX Works2 cho dòng PLC Mitsubishi FX. Mục tiêu của logic này là:

- Thiết lập giá trị góc mở mong muốn của van bướm (bằng thanh ghi D100).
- Chuẩn hóa tín hiệu để xuất ra module analog (dưới dạng 4–20mA hoặc 0–10V).
- Gửi tín hiệu đến thiết bị điều khiển van bướm qua các lệnh TO (viết vào module mở rộng).
- Hỗ trợ nhiều mức độ mở dựa trên chế độ điều khiển (manual hoặc preset).



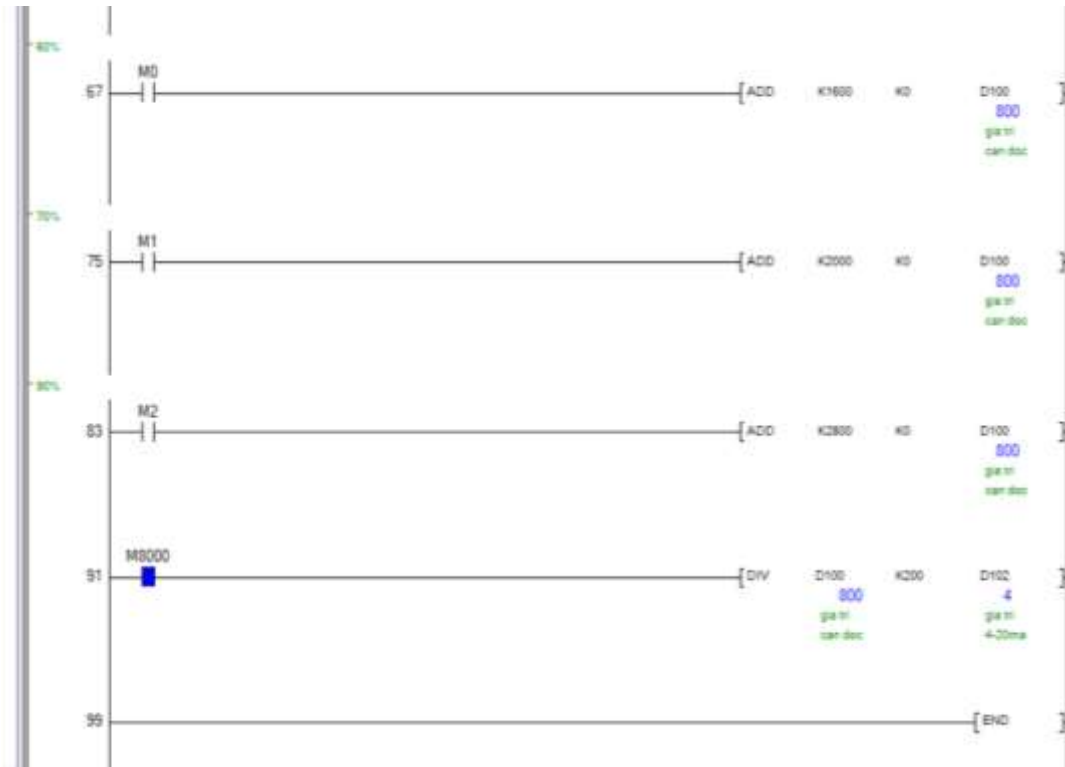
Hình 7.9. Ladder Code.



Hình 7.10. Chạy mô phỏng.

Chúng ta bắt đầu bằng cách nạp toàn bộ chương trình đã lập trình vào PLC mô phỏng trong GX Works2. Phần mềm sẽ hiển thị trạng thái truyền dữ liệu để chúng ta theo dõi tiến trình. Sau khi nạp thành công, chúng ta chuyển PLC sang chế độ RUN. Lúc này, chương trình bắt đầu thực thi giống hệt như trên PLC vật lý, với các lệnh được quét liên tục theo chu kỳ.

Trong môi trường mô phỏng, chúng ta có thể chủ động thao tác các thiết bị đầu vào ảo như công tắc, nút nhấn hoặc cảm biến bằng cách bật/tắt trực tiếp trên phần mềm. Từ đó, chúng ta quan sát phản ứng của các đầu ra như đèn, motor hay tín hiệu analog để đánh giá tính chính xác của chương trình. Đồng thời, chúng ta cũng có thể điều chỉnh các thông số đặt trước, kiểm tra các chế độ tự động, bằng tay, và quan sát các tình huống lỗi giả lập nhằm đảm bảo hệ thống hoạt động an toàn.



Hình 7.11. Các giá trị chờ lệnh.

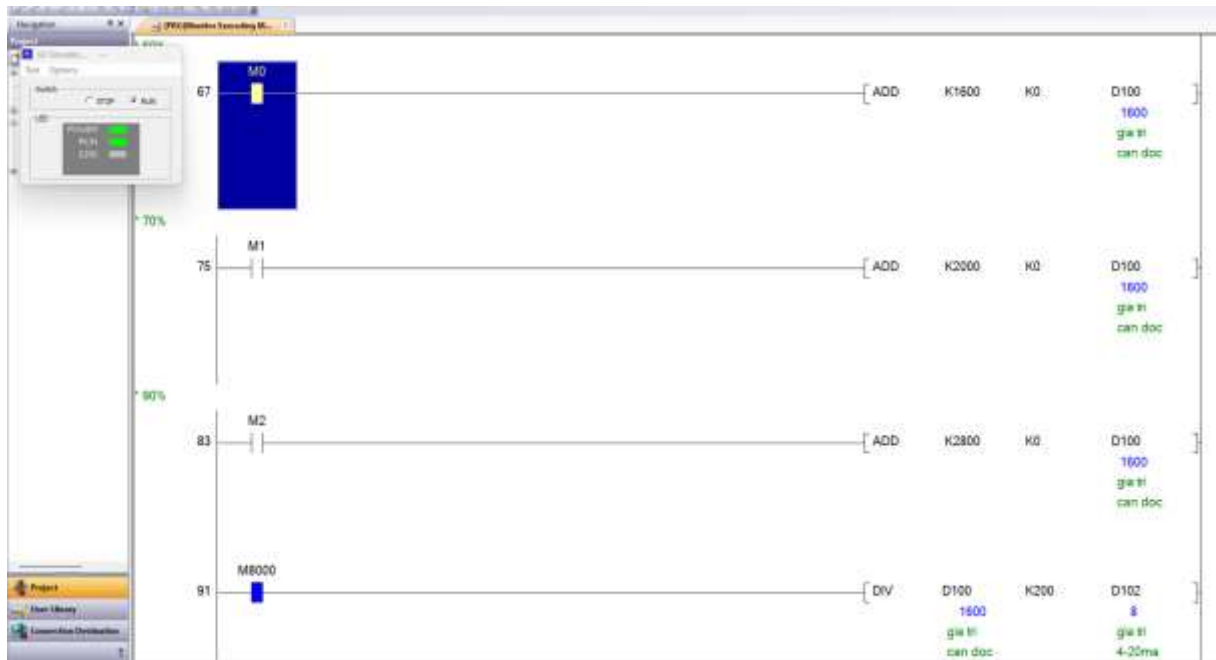
Trong chương trình điều khiển van bướm bằng PLC được mô phỏng trên phần mềm GX Works2, chúng ta đã thiết lập ba mức góc mở tiêu chuẩn tương ứng với ba chế độ vận hành chính là 60%, 70% và 90%. Mỗi mức độ này được gán một giá trị số nguyên cụ thể, được tính toán dựa trên thang đo của bộ điều khiển analog mà van nhận tín hiệu, thường là dạng điện áp 0–10V hoặc dòng điện 4–20mA.

Cụ thể, giá trị điều khiển van được lưu trữ trong thanh ghi D100. Khi chúng ta muốn van mở 60%, chúng ta sẽ kích hoạt ngõ vào M0. Tại rung số 67, lệnh ADD sẽ cộng giá trị K1600 vào K0 và lưu kết quả vào D100. Con số 1600 tương ứng với 60% độ mở của van, được quy đổi theo thang chuẩn mà hệ thống analog sử dụng.

Tương tự, tại rung số 75, nếu chúng ta chọn mức mở 70%, ngõ vào M1 sẽ được kích hoạt. Lệnh ADD trong rung này sẽ cộng K2000 vào K0 và ghi vào D100. Như vậy, D100 sẽ mang giá trị 2000, tượng trưng cho góc mở van khoảng 70%. Việc quy đổi này đã được tính toán từ trước dựa trên thang đo góc và giới hạn tín hiệu analog đầu ra.

Tại rung số 83, khi lựa chọn mức 90%, ngõ vào M2 sẽ bật, dẫn đến việc cộng giá trị K2800 vào K0 và ghi kết quả vào D100. Như vậy, giá trị 2800 đại diện cho góc mở 90% của van bướm.

Trong rung cuối cùng (rung số 91), chương trình thực hiện phép chia giá trị D100 cho hằng số K200 để đưa kết quả về dạng tín hiệu phù hợp với module analog xuất tín hiệu 4–20mA hoặc 0–10V. Kết quả được lưu vào D102, là thanh ghi chứa giá trị đã chuẩn hóa, sẵn sàng xuất ra thiết bị điều khiển motor gắn với van bướm.



Hình 7.12. Mở 60%.

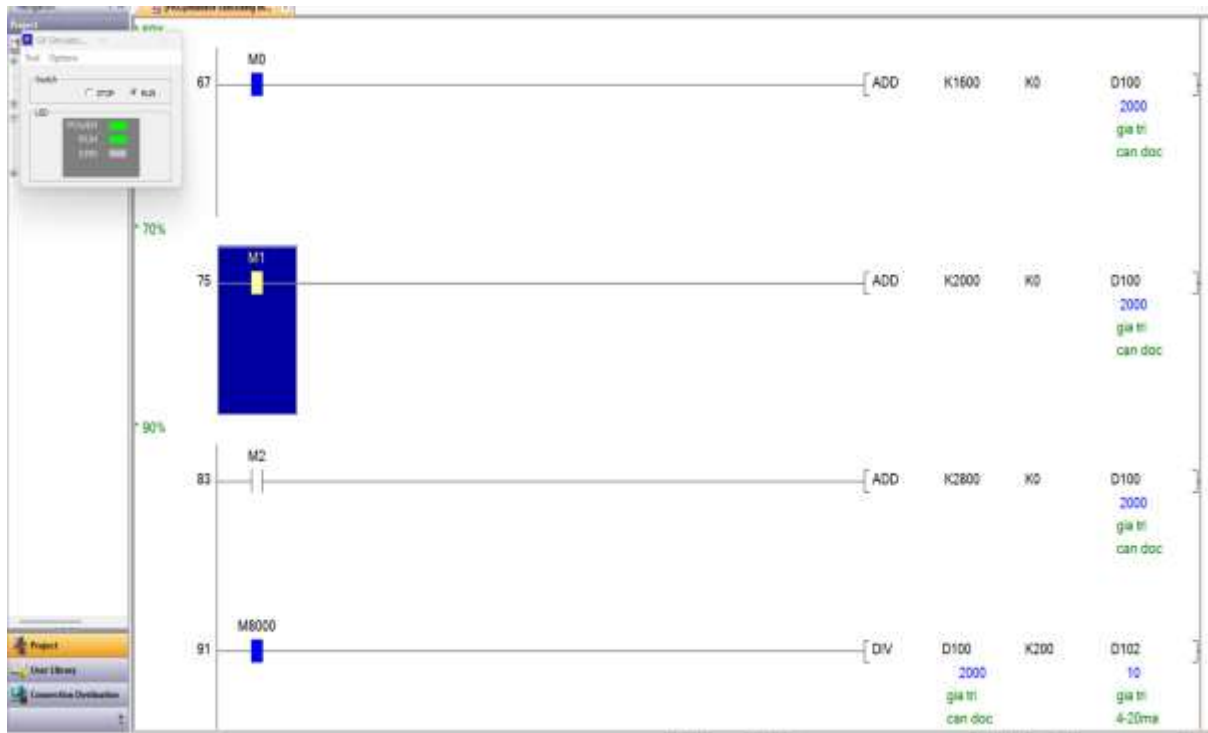
Khi chúng ta nhấn nút điều khiển để chọn mở van ở mức 60%, chương trình sẽ thực hiện một loạt thao tác tự động nhằm đảm bảo van bướm quay đúng theo yêu cầu. Tín hiệu từ nút nhấn sẽ kích hoạt bit logic M0 – đây chính là điều kiện đầu vào đánh dấu rằng chế độ mở van 60% đã được chọn.

Khi bit M0 được kích hoạt, rung số 67 trong chương trình Ladder sẽ được thực hiện. Lệnh ADD sẽ cộng giá trị hằng K1600 với K0 (nghĩa là 0) và lưu kết quả vào thanh ghi D100. Giá trị D100 lúc này trở thành 1600 – con số này được chọn để tương ứng với mức mở 60% của van bướm. Đây là giá trị trung gian đại diện cho góc quay cần thiết.

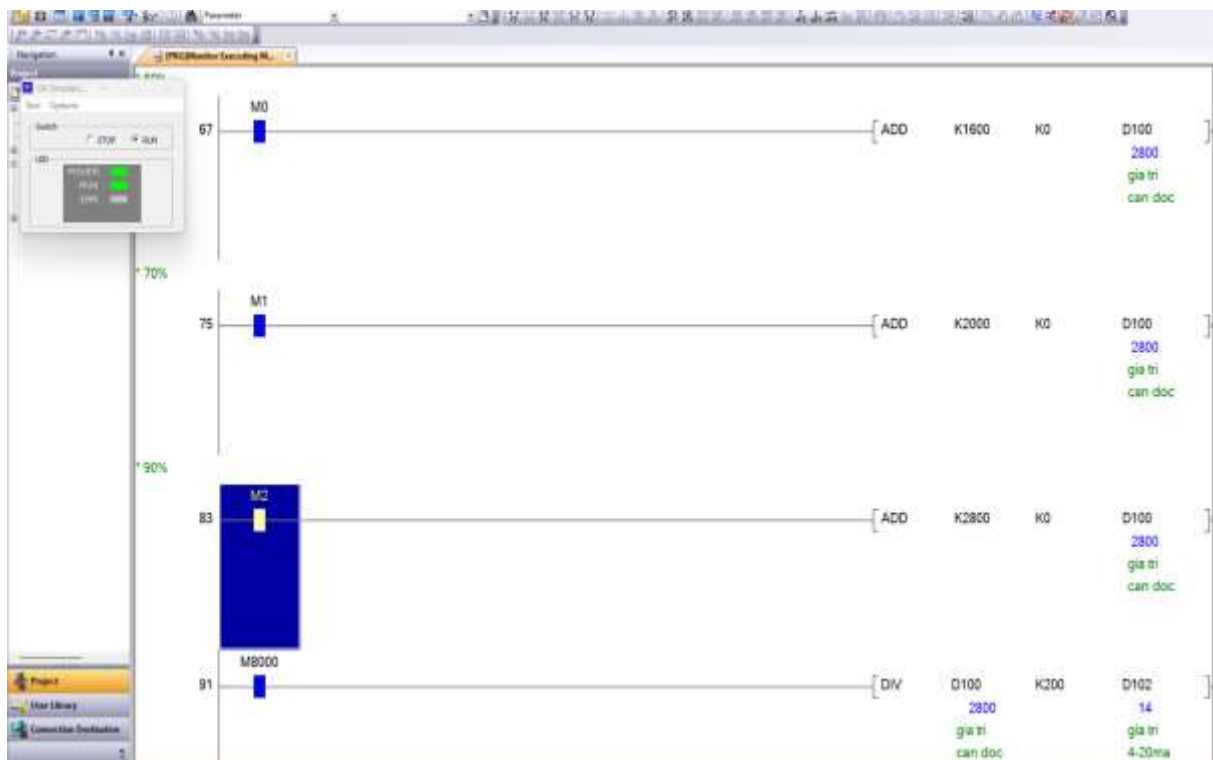
Sau khi D100 nhận giá trị 1600, rung tiếp theo sử dụng lệnh DIV để chia giá trị này cho hằng số K200, kết quả sẽ được ghi vào thanh ghi D102. D102 chính là giá trị đầu ra dạng số nguyên đã được chuẩn hóa, phù hợp để gửi đến module analog, nơi chuyển đổi thành tín hiệu dòng điện 4–20mA hoặc điện áp 0–10V. Tín hiệu này sau đó sẽ được đưa tới motor của van bướm, điều khiển nó quay đúng đến mức mở 60%.

Nhờ việc chia giá trị theo hệ số chuẩn, hệ thống đảm bảo rằng khi mở 60%, dòng điện hoặc điện áp điều khiển đầu ra cũng chính xác tương ứng với mức đó. Quá trình diễn ra một cách tự động, không cần can thiệp thủ công thêm, và đảm bảo rằng van mở chính xác, ổn định và an toàn.

Trong quá trình vận hành, các thanh ghi như D100 và D102 có thể được quan sát trực tiếp trong phần mềm GX Works2 ở chế độ mô phỏng. Điều này cho phép chúng ta xác nhận rằng tín hiệu đã được xử lý đúng logic và các giá trị trung gian cũng như đầu ra đều đúng theo mong muốn.



Hình 7.13. Mở 70%.



Hình 7.14. Mở 90%.

7.5. Điều kiện an toàn trong hệ thống điều khiển van

7.5.1. Giám sát tín hiệu cảm biến (mất tín hiệu)

Để đảm bảo hệ thống hoạt động ổn định và an toàn, PLC được lập trình thực hiện chức năng giám sát liên tục tín hiệu từ các cảm biến chính, bao gồm cảm biến áp suất (AI1) và cảm biến lưu lượng (AI2). Việc kiểm tra này được thực hiện định kỳ trong mỗi

chu trình quét (scan cycle), nhằm phát hiện kịp thời các tình huống mất tín hiệu hoặc tín hiệu không hợp lệ.

Cụ thể, nếu giá trị đo được từ cảm biến áp suất hoặc lưu lượng bằng 0, hoặc không thay đổi trong một khoảng thời gian liên tục (thường là 2–3 giây, theo cấu hình trong chương trình), hệ thống sẽ coi đó là trạng thái mất tín hiệu cảm biến. Đây có thể là dấu hiệu của các sự cố như đứt dây tín hiệu, mất nguồn cảm biến, hỏng thiết bị đo, hoặc rút cảm biến khi bảo trì.

Khi phát hiện tình huống này, PLC sẽ ngắt ngay tín hiệu điều khiển analog đến motor van, và đưa van về trạng thái an toàn. Trạng thái an toàn có thể là đóng hoàn toàn van hoặc giữ nguyên góc mở hiện tại, tùy theo cấu hình bảo vệ được thiết kế phù hợp với từng tình huống cụ thể.

Đồng thời, PLC sẽ kích hoạt cờ lỗi nội bộ (ví dụ: $M11 = 1$) để lưu trạng thái lỗi này, đồng thời gửi tín hiệu hiển thị thông báo lên màn hình điều khiển HMI với nội dung: "Mất tín hiệu cảm biến!". Việc hiển thị cảnh báo giúp người vận hành nhanh chóng phát hiện và xử lý tình huống, tránh để lỗi ảnh hưởng kéo dài đến hiệu suất hoặc an toàn của hệ thống.

7.5.2. Giới hạn áp suất làm việc

Trong hệ thống cấp nước áp lực cao như trên xe chữa cháy, việc kiểm soát và duy trì áp suất trong giới hạn cho phép là một yêu cầu bắt buộc để đảm bảo an toàn cho thiết bị và người vận hành. Do đó, hệ thống điều khiển được lập trình để giám sát liên tục giá trị áp suất thực tế thông qua cảm biến áp suất đầu vào (AI1).

Khi giá trị áp suất đo được vượt quá ngưỡng cho phép (ví dụ: 10 bar), hệ thống sẽ ngay lập tức kích hoạt cờ cảnh báo ($M10 = 1$). Cờ này đồng thời có thể được liên kết với đèn tín hiệu hoặc còi báo động trên HMI để cảnh báo người vận hành về tình trạng quá áp.

Song song với việc cảnh báo, PLC sẽ tự động điều chỉnh góc mở van bướm để giảm áp suất, thông thường bằng cách giảm góc mở từ 10% đến 20% tùy theo cấu hình phản hồi. Mục đích là giảm lưu lượng dòng chảy, qua đó giảm áp suất trong đoạn ống sau van.

Nếu sau khi đã giảm góc mở mà áp suất vẫn tiếp tục vượt ngưỡng cho phép trong một khoảng thời gian nhất định (ví dụ 2–3 giây), hệ thống sẽ thực hiện đóng van khẩn cấp, nhằm ngăn chặn nguy cơ gây vỡ ống, rò rỉ, hoặc hư hỏng thiết bị đầu cuối.

Cuối cùng, sự kiện vượt áp suất và hành động khẩn cấp sẽ được hệ thống ghi log vào bộ nhớ (data logging). Việc lưu lại sự kiện giúp kỹ thuật viên phân tích lại nguyên nhân sự cố, phục vụ công tác bảo trì và cải tiến hệ thống sau này.

7.5.3. Kiểm tra trạng thái van

Trong các hệ thống điều khiển tự động sử dụng van điều khiển motor điện (MOV), việc giám sát vị trí thực tế của van là một yếu tố quan trọng nhằm đảm bảo độ chính xác và độ tin cậy của quá trình điều khiển. Nếu van được trang bị bộ phản hồi vị trí (position feedback sensor), PLC có thể so sánh liên tục giữa góc mở đặt trước và góc mở thực tế của van trong suốt quá trình vận hành.

Trong trường hợp vị trí phản hồi không khớp với vị trí điều khiển trong một khoảng thời gian nhất định (ví dụ 2–3 giây), hệ thống sẽ xác định đây là tình huống van không

đạt đến vị trí yêu cầu. Nguyên nhân có thể do lỗi motor, kẹt cơ khí, mất tín hiệu điều khiển, hoặc van bị cản trở bởi vật thể lạ.

Khi xảy ra tình huống này, PLC sẽ kích hoạt cảnh báo lỗi, hiển thị thông báo trên HMI với nội dung: “Van không đạt vị trí yêu cầu”, đồng thời giữ nguyên trạng thái điều khiển hiện tại ở mức an toàn. Việc không tiếp tục gửi tín hiệu điều khiển trong điều kiện van hoạt động không chính xác giúp ngăn chặn các tình huống rủi ro như tăng áp đột ngột, cấp sai lưu lượng, hoặc mất kiểm soát dòng chảy.

Tùy theo mức độ ảnh hưởng của van trong hệ thống, kỹ thuật viên có thể cấu hình PLC để:

- Giữ van ở trạng thái hiện tại.
- Đóng van về 0%.
- Hoặc đưa hệ thống vào chế độ chờ sửa lỗi.

Việc giám sát trạng thái van chấp hành là cần thiết để đảm bảo tính nhất quán giữa tín hiệu điều khiển và hành vi thực tế, đồng thời tạo nên một hệ thống điều khiển an toàn, tin cậy và có khả năng phản hồi nhanh với sự cố kỹ thuật.

7.5.4. Bố trí van an toàn khi van bướm bị quá tải

Trong trường hợp van bướm điều khiển gặp sự cố như kẹt cơ, không phản hồi hoặc quá tải motor, áp suất tại đầu ra bơm có thể tăng đột ngột gây nguy hiểm. Do đó, hệ thống được bố trí van an toàn tại vị trí gần van bướm, với ngưỡng mở từ 10–11 bar, giúp xả áp tức thời và bảo vệ đường ống cũng như các thiết bị liên quan. Đây là một lớp bảo vệ cơ khí cần thiết bên cạnh các điều kiện an toàn điều khiển trong PLC.

7.6. Điều khiển lăng phun tự động

7.6.1. Mục tiêu điều khiển

Hệ thống điều khiển góc quay cho lăng phun tự động trên xe cứu hỏa được thiết kế nhằm mục đích đảm bảo khả năng định hướng linh hoạt, chính xác và an toàn cho tia phun trong quá trình vận hành chữa cháy. Trong điều kiện thực tế, lăng phun được đặt trên nóc xe với mục tiêu bao phủ khu vực rộng, đồng thời phải phản ứng kịp thời theo yêu cầu chiến thuật tại hiện trường. Do đó, việc kiểm soát góc quay theo cả phương ngang và phương đứng là yếu tố then chốt trong việc phát huy hiệu quả của hệ thống phun.

Một trong những yêu cầu quan trọng là hệ thống phải có khả năng vận hành ở hai chế độ làm việc: điều khiển tự động thông qua chương trình lập trình PLC (chế độ Auto) và điều khiển thủ công trực tiếp bởi người vận hành trong trường hợp mất tín hiệu điều khiển hoặc xảy ra sự cố hệ thống (chế độ Manual). Hai chế độ này cần được chuyển đổi linh hoạt, đồng thời đảm bảo hệ thống không bị gián đoạn hoặc sai lệch khi chuyển chế độ.

Ngoài ra, để đáp ứng các yêu cầu vận hành trong điều kiện áp suất phun lớn và rung động mạnh, hệ thống cũng cần đảm bảo có cơ chế tự hãm hoặc giữ cố định góc quay khi không có tín hiệu điều khiển nhằm ngăn lăng bị lệch hướng ngoài ý muốn. Việc phản hồi góc quay thực tế về PLC hoặc giao diện giám sát cũng là một phần không thể thiếu để hệ thống có thể tự động dừng chính xác tại vị trí mong muốn và đồng thời hỗ trợ ghi nhận trạng thái vận hành.

Từ những yêu cầu trên, hệ thống được xây dựng với mục tiêu cuối cùng là đảm bảo độ ổn định, độ chính xác cao và tính sẵn sàng vận hành trong mọi tình huống khẩn cấp, đặc biệt trong môi trường làm việc có tải động lớn, áp suất cao và yêu cầu thời gian đáp ứng nhanh như trên xe cứu hỏa.

7.6.2. Yêu cầu kỹ thuật

Vì lăng phun trên xe cứu hỏa phải làm việc trong điều kiện khắc nghiệt, lại thường xuyên chịu lực phản hồi từ áp suất phun lớn, nên hệ thống điều khiển góc quay cũng cần đáp ứng một số yêu cầu kỹ thuật nhất định để đảm bảo hoạt động ổn định và an toàn.

Trước hết, hệ thống cần cho phép lăng xoay trong một khoảng nhất định, ví dụ như từ 0 đến 180 độ hoặc ± 90 độ tùy theo giới hạn cơ khí thực tế. Góc quay phải đủ rộng để có thể bao quát được không gian phía trước xe mà không cần di chuyển toàn bộ xe.

Về độ chính xác, mặc dù không cần chính xác tuyệt đối như các hệ thống robot công nghiệp, nhưng hệ thống vẫn phải đảm bảo sai số nhỏ, đủ để lăng hướng đúng khu vực cần phun. Sai số chấp nhận được thường trong khoảng 2–3 độ. Việc này phụ thuộc phần lớn vào loại cảm biến phản hồi được tích hợp bên trong cụm MAZ-4000 và cách xử lý tín hiệu của PLC.

Tốc độ quay cũng không cần quá nhanh, vì ưu tiên độ ổn định hơn là tốc độ. Thông thường, chỉ cần vài giây để quay từ vị trí này sang vị trí khác là đủ. Tuy nhiên, điều quan trọng là hệ thống phải dừng chính xác và không bị lắc lại khi đã đạt đến góc mong muốn. Vì vậy, cơ cấu truyền động cần có khả năng tự giữ vị trí (tự hãm) hoặc có thêm chốt hãm để khóa lại khi không quay.

Hệ thống cũng cần hoạt động ổn định trong hai chế độ: tự động (thông qua PLC) và thủ công (bằng tay quay hoặc nút nhấn). Trong cả hai chế độ, khi dừng thì góc lăng vẫn phải giữ nguyên, không được tự xoay lại do lực đẩy từ nước hoặc bọt.

Cuối cùng, hệ thống cần được bảo vệ khỏi các lỗi thường gặp như quá hành trình, mất tín hiệu, hoặc không phản hồi. Khi xảy ra lỗi, hệ thống phải tự động dừng và chuyển sang chế độ an toàn để tránh hư hỏng thiết bị và đảm bảo người vận hành có thể can thiệp thủ công nếu cần.

7.6.3. Thiết bị điều khiển lăng phun

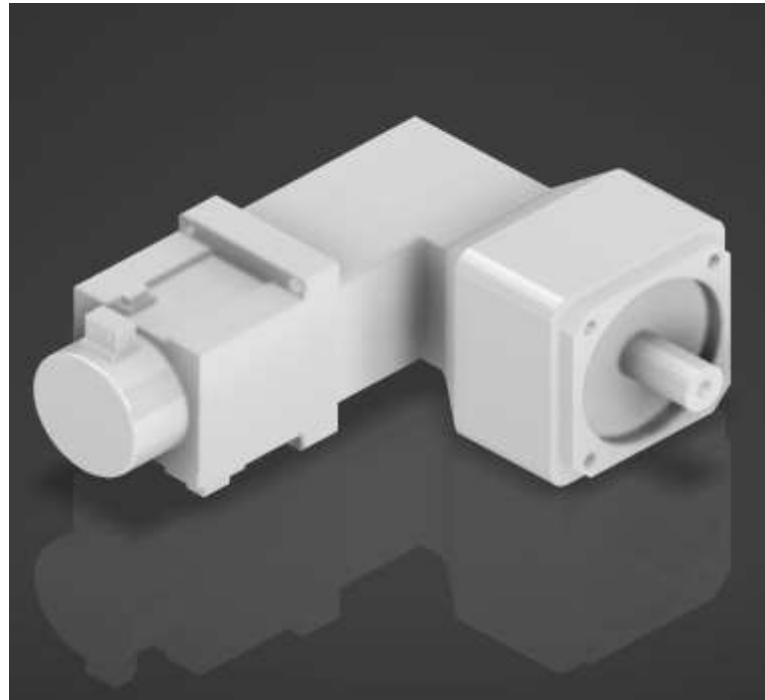
Sau quá trình phân tích toàn diện các phương án điều khiển góc quay cho cụm lăng phun trên xe cứu hỏa, có thể nhận thấy rằng mỗi phương án đều có những ưu điểm và giới hạn riêng, phụ thuộc vào yêu cầu kỹ thuật, mức độ tự động hóa và điều kiện vận hành thực tế.

Phương án sử dụng cơ cấu quay thủ công hoàn toàn tuy có cấu trúc đơn giản, chi phí thấp và dễ thi công, nhưng hoàn toàn không đáp ứng được yêu cầu điều khiển từ xa, tính chính xác và sự ổn định trong môi trường làm việc áp suất cao. Đây là phương án truyền thống, chỉ còn phù hợp trong các hệ thống không yêu cầu điều khiển tự động hoặc chỉ mang tính dự phòng.

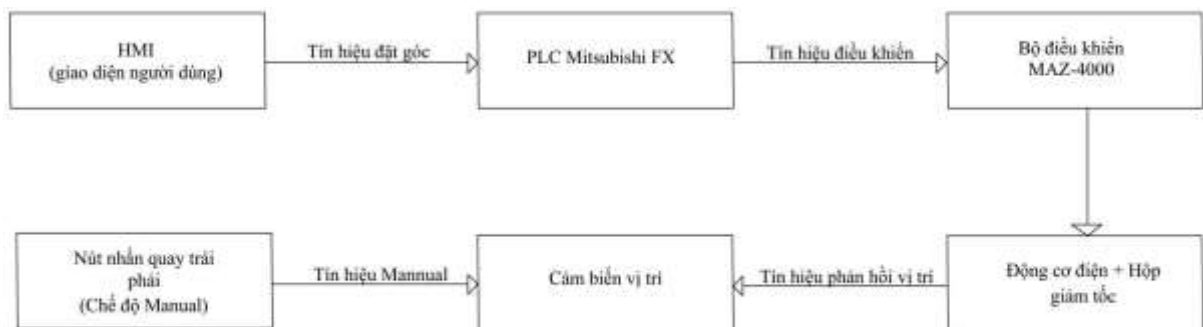
Phương án sử dụng motor điện thường và điều khiển bằng relay thể hiện ưu điểm ở mặt chi phí và sự đơn giản trong lắp đặt, nhưng lại tồn tại những hạn chế lớn về độ chính xác, khả năng phản hồi vị trí và độ an toàn trong vận hành. Thiếu phản hồi góc, hệ thống không thể xác định chính xác vị trí của lăng phun, dẫn đến sai số khi vận hành hoặc

nguy cơ vượt quá giới hạn cơ học, đặc biệt trong các tình huống yêu cầu tốc độ xử lý và phản ứng nhanh.

Lựa chọn phương án MAZ-4000 là sự kết hợp hài hòa giữa hiệu quả kỹ thuật, tính linh hoạt và độ an toàn, phù hợp với mục tiêu thiết kế hệ thống điều khiển lăng phun tự động hiện đại trên xe chữa cháy chuyên dụng. Đây là nền tảng kỹ thuật quan trọng để triển khai các bước lập trình, kết nối và mô phỏng điều khiển.



Hình 7.15. Thiết bị MAZ-4000.



Hình 7.16. Sơ đồ khối quá trình điều khiển lăng phun.

7.6.4. Phân tích tín hiệu trong hệ thống điều khiển góc quay^[19]

Trong hệ thống điều khiển góc quay của lăng phun tự động, các tín hiệu đóng vai trò trung gian giữa bộ điều khiển PLC và thiết bị chấp hành (motor), cũng như giữa các thiết bị phản hồi (cảm biến) với PLC. Việc phân tích tín hiệu giúp xác định rõ loại tín hiệu nào được sử dụng, mức điện áp, giao thức truyền và ý nghĩa của từng loại, từ đó xây dựng hệ thống điều khiển chính xác và an toàn.

Về cơ bản, hệ thống sử dụng ba nhóm tín hiệu chính: tín hiệu điều khiển đầu ra, tín hiệu phản hồi đầu vào, và tín hiệu chế độ vận hành.

Tín hiệu điều khiển đầu ra từ PLC

Đây là các tín hiệu mà PLC xuất ra để điều khiển hoạt động của cụm MAZ-4000. Tùy thuộc vào loại thiết bị cụ thể, tín hiệu điều khiển có thể là:

Tín hiệu analog (0–10V hoặc 4–20mA): được dùng để điều khiển tốc độ hoặc hướng quay trong chế độ tự động. Nếu MAZ-4000 hỗ trợ điều khiển tuyến tính, PLC có thể xuất giá trị điện áp hoặc dòng tương ứng với góc quay cần đạt.

Tín hiệu digital (ON/OFF, relay): trong trường hợp dùng kiểu điều khiển đơn giản, có thể xuất hai tín hiệu riêng biệt để điều khiển quay trái (Y0) và quay phải (Y1). Việc bật/tắt các đầu ra này sẽ kích hoạt motor quay theo hướng tương ứng.

Tín hiệu phản hồi đầu vào từ cảm biến

Tín hiệu đầu vào cho PLC có thể đến từ các cảm biến hoặc thiết bị phản hồi trong MAZ-4000. Những tín hiệu này giúp PLC biết được trạng thái thực tế của lăng phun để điều chỉnh hoặc dừng lại khi đạt yêu cầu.

Tín hiệu phản hồi góc quay (analog): ví dụ như cảm biến potentiometer tích hợp, xuất tín hiệu điện áp tuyến tính (0–10V) tương ứng với vị trí góc quay hiện tại. PLC sẽ đọc giá trị này qua ngõ vào analog để so sánh với giá trị đặt trước.

Tín hiệu giới hạn hành trình (digital): công tắc hành trình ở hai đầu quay sẽ đóng/mở khi lăng đạt đến biên độ tối đa. PLC nhận tín hiệu này để ngừng motor và tránh vượt quá góc cho phép.

Tín hiệu lựa chọn chế độ vận hành (Auto/Manual)

Công tắc chế độ (digital input): thường là một công tắc hai vị trí hoặc nút nhấn, gắn ở bảng điều khiển hoặc HMI. Khi ở chế độ Auto, PLC sẽ tự động điều khiển dựa theo giá trị đặt. Khi chuyển sang Manual, các nút nhấn quay trái/phải sẽ có hiệu lực, cho phép người dùng điều khiển trực tiếp.

Nút nhấn điều khiển thủ công (digital): gồm các tín hiệu như quay trái và quay phải. Khi nhấn giữ, PLC xuất tín hiệu tương ứng điều khiển motor theo hướng mong muốn.

Tín hiệu cảnh báo hoặc lỗi

Cờ cảnh báo nội bộ (memory bit): ví dụ như M10, M11 trong PLC, dùng để lưu trạng thái lỗi như "mất phản hồi góc", "vượt quá thời gian điều khiển", hoặc "lỗi motor".

Hiển thị trên HMI: các tín hiệu này có thể kết nối với HMI để cảnh báo cho người vận hành.

7.6.5. Cấu hình tín hiệu PLC

Trong hệ thống điều khiển góc quay của lăng phun, bộ điều khiển trung tâm sử dụng là PLC Mitsubishi dòng FX, với khả năng hỗ trợ cả tín hiệu số (digital) và tín hiệu tương tự (analog). Việc cấu hình đúng các tín hiệu vào/ra của PLC là bước quan trọng giúp đảm bảo hệ thống hoạt động ổn định và đúng logic thiết kế.

Hệ thống sử dụng các ngõ vào để nhận tín hiệu từ cảm biến, nút nhấn và thiết bị giám sát, trong khi ngõ ra dùng để điều khiển các thiết bị chấp hành như động cơ quay (MAZ-4000) hoặc relay điều hướng. Ngoài ra, hệ thống cũng tích hợp ngõ vào/ra analog để xử lý tín hiệu phản hồi vị trí và điều khiển theo góc quay cụ thể.

Bảng 7.5. Tín hiệu vào/ra của PLC (I/O)

Loại tín hiệu	Địa chỉ PLC	Thiết bị	Mô tả
Digital	X000	Nút nhấn quay thuận (Motor 1).	Kích hoạt quay lăng theo chiều thuận
Digital	X001	Nút nhấn quay nghịch (Motor 1).	Kích hoạt quay lăng theo chiều ngược
Digital	X002	Nút nhấn quay thuận (Motor 2).	Kích hoạt quay lăng theo chiều lên
Digital	X003	Nút nhấn quay nghịch (Motor 2).	Kích hoạt quay lăng theo chiều xuống
Digital	X004	Limit switch phải (Motor 1).	Giới hạn hành trình quay phải
Digital	X005	Limit switch trái (Motor 1).	Giới hạn hành trình quay trái
Digital	X006	Limit switch lên (Motor 2).	Giới hạn hành trình quay lên
Digital	X007	Limit switch xuống (Motor 2).	Giới hạn hành trình quay xuống

Bảng 7.6. Tín hiệu xử lý nội bộ trong PLC (Internal Registers)

Tên biến	Kiểu dữ liệu	Mô tả chức năng
M0	Bit	Chế độ tự động
M1	Bit	Chế độ tự động
M10	Bit	Lệnh quay thuận Motor 1 (Auto – CW)
M11	Bit	Lệnh quay nghịch Motor 1 (Auto – CCW)
M12	Bit	Lệnh quay thuận Motor 2 (Auto – CW)
M13	Bit	Lệnh quay nghịch Motor 2 (Auto – CCW)
M20	Bit	Hoàn tất quay đúng vị trí Motor 1
M21	Bit	Hoàn tất quay đúng vị trí Motor 2
D100	Interger	Góc đặt motor 1 (Auto)
D101	Interger	Góc đặt motor 2 (Auto)
D200	Interger	Góc hiện tại motor 1 (Feedback)
D201	Interger	Góc hiện tại motor 2 (Feedback)

Bảng 7.7. Tín hiệu ngõ ra (Output)

Tên tín hiệu	Kiểu tín hiệu	Thiết bị nhận	Mô tả
Y000	Digital	Motor 1 quay thuận	Cấp nguồn quay theo chiều thuận
Y11	Digital	Motor 1 quay nghịch	Cấp nguồn quay theo chiều nghịch
Y12	Digital	Motor 2 quay thuận	Cấp nguồn quay lên
DA02	Analog	Motor 2 quay nghịch	Cấp nguồn quay xuống

7.6.6. Thuật toán điều khiển^[54]

Bước 1: Khởi động hệ thống

Khi hệ thống được cấp nguồn, PLC bắt đầu chu trình vận hành bằng cách quét toàn bộ các tín hiệu đầu vào. Quá trình này giúp cập nhật trạng thái ban đầu của các thiết bị như cảm biến, công tắc giới hạn, nút nhấn và lựa chọn chế độ. Đây là bước chuẩn bị cần thiết để đảm bảo hệ thống không có lỗi trước khi bắt đầu điều khiển chính thức.

Bước 2: Xác định chế độ hoạt động

Sau khi hoàn tất quá trình quét tín hiệu, PLC sẽ đọc trạng thái công tắc hoặc nút chọn chế độ để xác định người vận hành đang chọn chế độ tự động hay thủ công. Nếu chế độ là Manual, chương trình sẽ bỏ qua các bước xử lý tự động và chuyển sang nhận lệnh điều khiển trực tiếp từ nút nhấn. Nếu là chế độ Auto, hệ thống sẽ tiếp tục với quy trình điều khiển góc quay tự động.

Bước 3: Điều khiển tự động (Auto)

Trong chế độ tự động, người điều khiển nhập một giá trị góc đặt thông qua giao diện HMI. PLC sẽ đọc tín hiệu phản hồi từ cảm biến vị trí góc quay, thường là dạng analog tuyến tính, để biết được vị trí thực tế của lăng. Dựa trên phép so sánh giữa góc hiện tại và góc đặt, PLC xác định hướng quay phù hợp và kích hoạt motor theo chiều cần thiết. Quá trình điều khiển tiếp tục diễn ra cho đến khi góc thực tế đạt gần với giá trị mong muốn trong phạm vi sai số cho phép, lúc này PLC ngắt điều khiển và giữ nguyên vị trí lăng. Nếu hệ thống phát hiện lăng không quay đúng trong thời gian giới hạn, hoặc cảm biến phản hồi không gửi tín hiệu, chương trình sẽ tự động chuyển sang trạng thái lỗi và dừng hệ thống để đảm bảo an toàn.

Bước 4: Điều khiển thủ công (Manual)

Khi người dùng chuyển sang chế độ Manual, các nút nhấn quay trái và quay phải sẽ được kích hoạt. PLC sẽ kiểm tra trạng thái của các nút này. Nếu người vận hành nhấn giữ một trong hai nút, motor sẽ được cấp tín hiệu tương ứng để quay theo chiều mong muốn. Khi người dùng buông nút, tín hiệu bị ngắt và motor dừng lại. Ở chế độ này, không có so sánh góc hay xử lý tự động, mọi hành động phụ thuộc hoàn toàn vào thao tác của người điều khiển.

Bước 5: Giám sát giới hạn và xử lý lỗi

Song song với quá trình điều khiển, hệ thống luôn giám sát tín hiệu từ các công tắc giới hạn hành trình đặt ở hai đầu góc quay. Nếu lăng chạm đến giới hạn bên trái hoặc bên phải, công tắc sẽ kích hoạt và gửi tín hiệu về PLC. Ngay khi nhận được tín hiệu này, PLC sẽ dừng motor để tránh quay quá mức gây hư hỏng cơ khí. Đồng thời, hệ thống cũng theo dõi liên tục tín hiệu từ cảm biến vị trí. Nếu tín hiệu bị mất hoặc sai lệch bất thường trong một khoảng thời gian, hệ thống sẽ ngắt điều khiển và hiển thị cảnh báo lỗi.

Bước 6: Lặp lại chu trình

Sau khi hoàn tất một chu kỳ kiểm tra và điều khiển, PLC sẽ quay lại bước đầu tiên và thực hiện lại toàn bộ quá trình. Việc quét liên tục theo chu trình này giúp hệ thống phản hồi nhanh với các thay đổi trong thao tác hoặc điều kiện làm việc, đồng thời duy trì sự ổn định và an toàn trong suốt quá trình vận hành.

Quá trình điều khiển lăng phun tự động được mô tả thông qua sơ đồ thuật toán thể hiện rõ ràng từng bước xử lý của hệ thống, từ khâu khởi tạo đến các quyết định vận hành, đảm bảo đáp ứng nhanh, chính xác và an toàn trong mọi điều kiện hoạt động thực tế.

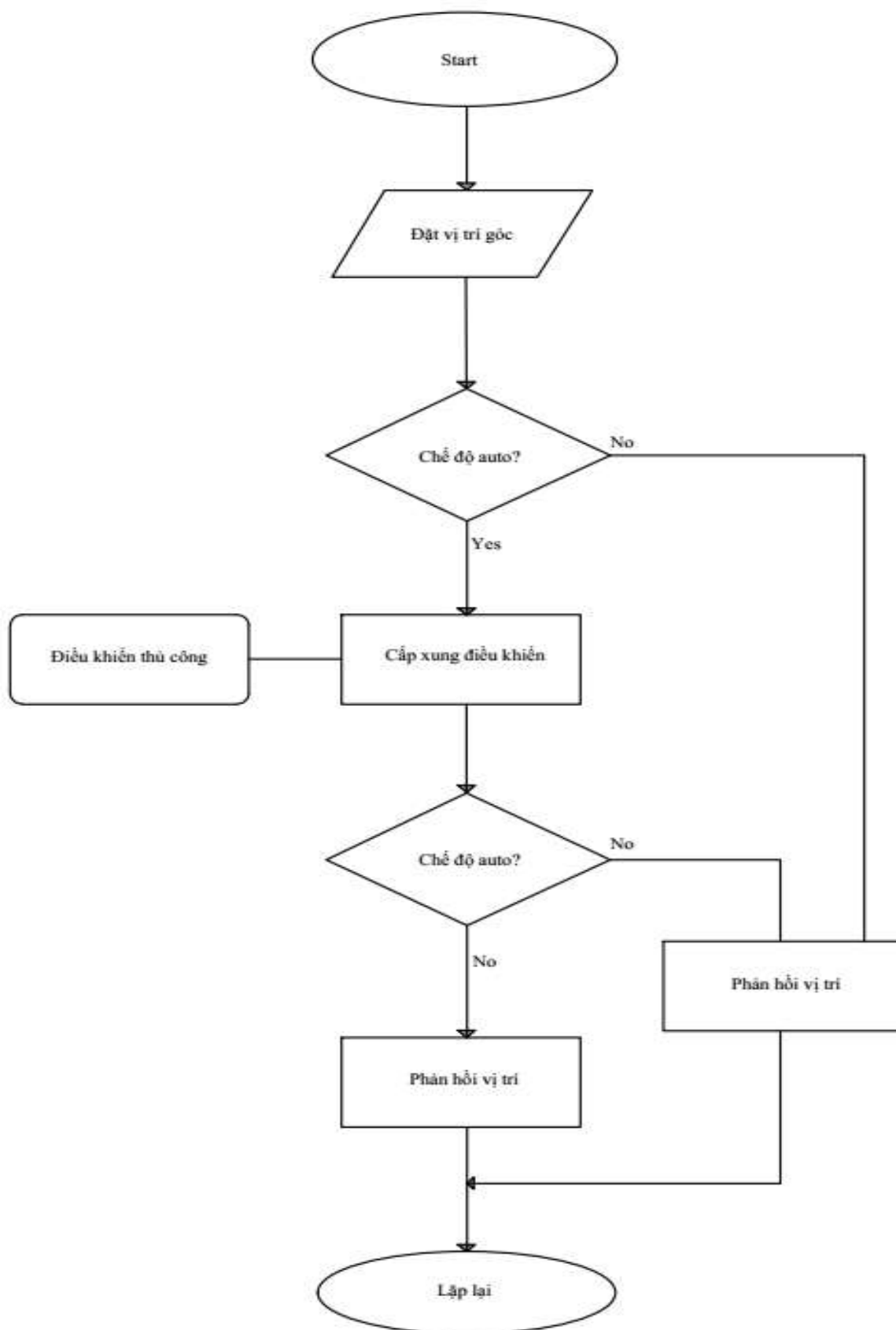
Thuật toán bắt đầu tại nút khởi động hệ thống (Start), tại đây hệ thống được kích hoạt và chuyển sang bước tiếp theo là ghi nhận giá trị vị trí góc phun mục tiêu từ người dùng thông qua thiết bị giao tiếp HMI. Giá trị này đóng vai trò là tham số đầu vào cho hệ thống điều khiển trong chế độ tự động.

Sau khi có được góc đặt, bộ điều khiển sẽ thực hiện một phép kiểm tra để xác định chế độ vận hành hiện tại là "Tự động" hay "Thủ công". Nếu hệ thống đang ở chế độ thủ công, quá trình điều khiển sẽ chuyển hướng sang cho phép người vận hành trực tiếp tác động đến chuyển động của lăng phun bằng các nút điều khiển cơ học. Dữ liệu vị trí từ cảm biến vẫn được cập nhật trong thời gian thực để đảm bảo lăng phun không vượt quá giới hạn chuyển động an toàn đã thiết lập.

Ngược lại, nếu chế độ điều khiển là tự động, bộ điều khiển sẽ tiến hành so sánh góc đặt với giá trị vị trí hiện tại thu nhận từ cảm biến vị trí. Dựa vào sai lệch này, bộ điều khiển sẽ phát lệnh cấp xung đến cụm truyền động MAZ-4000, gồm động cơ và hộp giảm tốc, nhằm điều chỉnh góc quay lăng phun cho đến khi đạt được vị trí mong muốn. Trong suốt quá trình này, tín hiệu phản hồi liên tục được thu nhận và xử lý để kiểm tra sai số cũng như tốc độ đáp ứng của hệ thống.

Đồng thời, hệ thống cũng liên tục thực hiện kiểm tra trạng thái cảm biến vị trí. Nếu phát hiện lỗi như mất tín hiệu, sai số vượt ngưỡng cho phép hoặc tín hiệu bất thường, hệ thống sẽ lập tức dừng cấp lệnh điều khiển và chuyển sang chế độ xử lý lỗi nhằm đảm bảo an toàn tuyệt đối cho thiết bị và con người xung quanh.

Khi không có lỗi xảy ra, hệ thống sẽ quay trở lại vòng lặp để tiếp tục giám sát trạng thái, chờ tín hiệu điều khiển tiếp theo từ người dùng hoặc từ chương trình tự động. Cấu trúc lặp này đảm bảo tính liên tục và ổn định của quá trình điều khiển, giúp lăng phun luôn sẵn sàng hoạt động trong các tình huống khẩn cấp như cháy nổ hoặc cứu hộ.



Hình 7.17. Sơ đồ thuật toán điều khiển lăng phun.

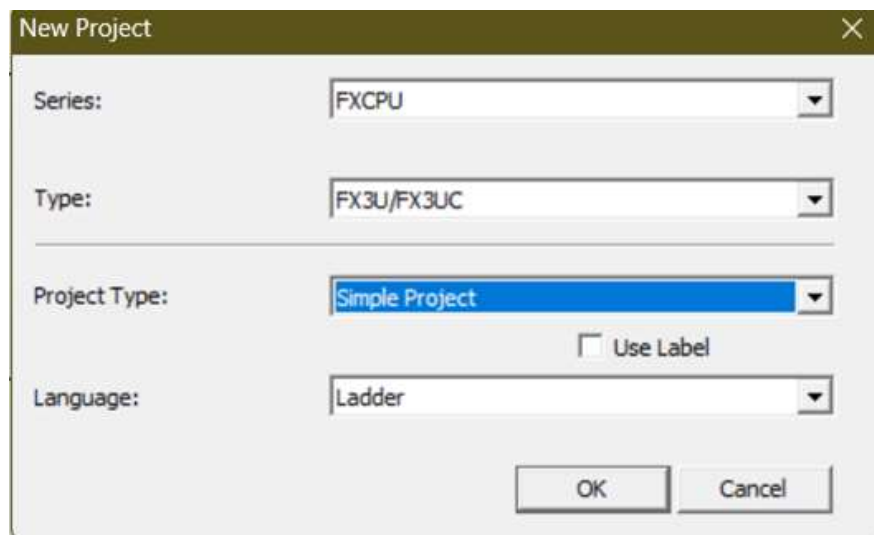
7.6.7. Lập trình trên GX Works2^[55]

a. Đặt vấn đề

Trong hệ thống lăng phun tự động trên xe chữa cháy, việc điều chỉnh chính xác hướng phun đóng vai trò then chốt để đảm bảo khả năng dập lửa hiệu quả, đặc biệt trong các tình huống khẩn cấp đòi hỏi phản ứng nhanh và điều khiển từ xa. Lăng phun không chỉ cần quay theo phương ngang (trái–phải) mà còn phải thay đổi theo phương thẳng đứng (lên–xuống) nhằm linh hoạt bao quát vùng tác chiến.

Để đáp ứng yêu cầu đó, hệ thống điều khiển motor phải đảm bảo các tiêu chí: tính chính xác, độ ổn định cao, khả năng phản hồi theo thời gian thực và khả năng chuyển đổi giữa chế độ tự động và thủ công. Việc lập trình điều khiển motor vì vậy cần được xây dựng một cách khoa học, đồng bộ với hệ thống PLC trung tâm và phù hợp với nguyên lý hoạt động của cụm truyền động chuyên dụng đã lựa chọn. Đây chính là cơ sở để triển khai chi tiết nội dung lập trình trong các mục tiếp theo.

b. Ladder code



Hình 7.18. Cài đặt trong GX Works 2.

Bước 1: Chuẩn bị trong phần mềm GX Works2

- Mở phần mềm GX Works2.
- Tạo Project mới → chọn PLC Mitsubishi FX (ví dụ FX3U hoặc FX1N).
- Tạo chương trình ở chế độ Ladder Diagram (LD).

Bước 2: Cấu hình các thiết bị đầu vào và đầu ra

- Vào menu "Parameter".
- Chọn "I/O Assignment" hoặc vào PLC Parameter → I/O Assignment.
- Xem số lượng I/O hiện tại (mặc định FX3U có 8 input: X000–X007 và 8 output: Y000–Y007 nếu dùng PLC 14 I/O).
- Đặt tên thiết bị (comment) cho từng địa chỉ để dễ quản lý.

The screenshot shows the 'FX Parameter' dialog box with the 'Memory Capacity' tab selected. The dialog has several input fields and checkboxes for configuring memory settings.

Memory Capacity
 16000

Comments Capacity
 0 Block (0 Block to 31 Block) 0 Points

File Register Capacity
 0 Block (0 Block to 14 Block) 0 Points

Program Capacity
 16000 Steps

Special Function Memory Capacity
 0 Blocks

☐ Special Function Block Settings (8 Blocks)
☐ Positioning Instruction Settings (18 Blocks)
☐ Built-in CC-Link/LT Settings (1 Block) (Only applies to the FX3UC-32MT-LT-2)

Buttons at the bottom: Print Window..., Print Window Preview, Default, Check, End, Cancel.

Hình 7.19. Cửa sổ PLC Parameter.

The screenshot shows the 'FX Parameter' dialog box with the 'Positioning' tab selected. It displays a table of positioning parameters and their settings.

	Y0	Y1	Y2	Y3	Setting Range
Bias Speed[Hz]	0	0	0	0	1/10 or Less of Max. Speed
Max. Speed[Hz]	100000	100000	100000	100000	10-200,000
Creep Speed[Hz]	1000	1000	1000	1000	10-32,767
Zero Return Speed[Hz]	50000	50000	50000	50000	10-200,000
Acceleration Time[ms]	100	100	100	100	50-5,000
Deceleration Time[ms]	100	100	100	100	50-5,000
Interruption Input of DVIT Instruction	X0	X1	X2	X3	X0-X7, Special M

Buttons at the bottom: Print Window..., Print Window Preview, Default, Check, End, Cancel.

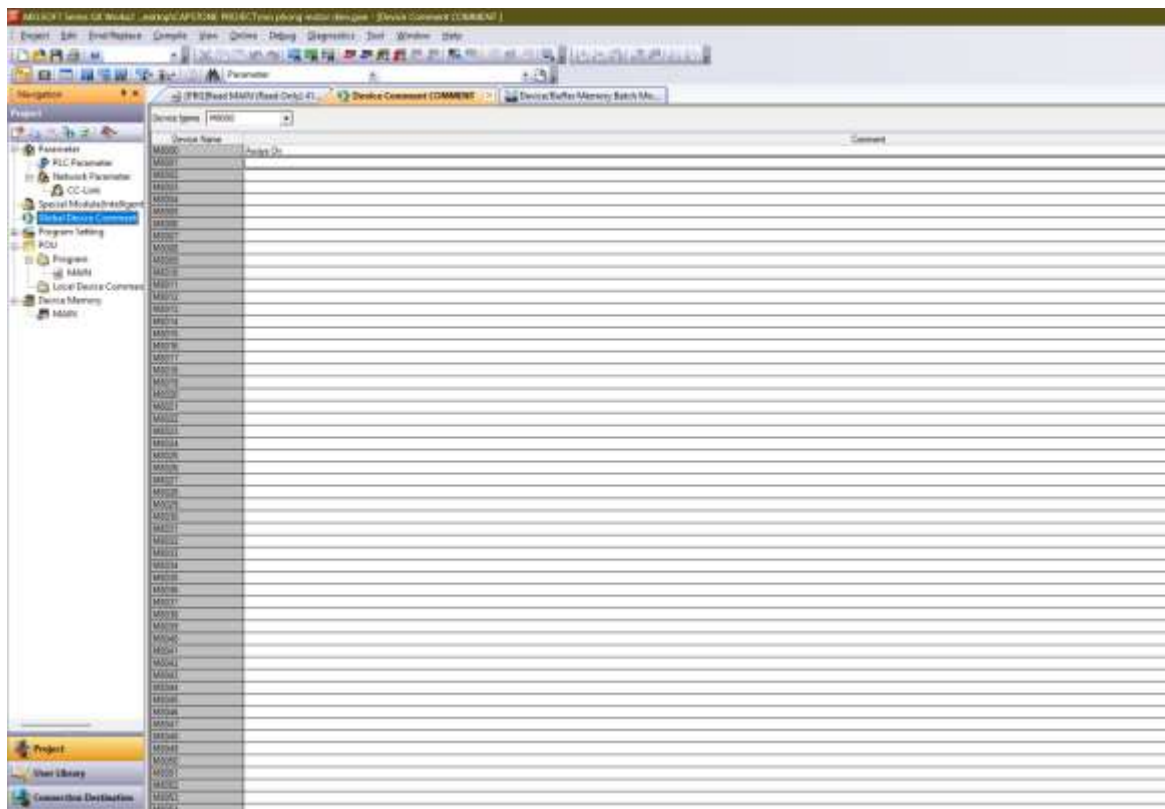
Hình 7.20. Chức năng Positioning.

Cấu hình Positioning được lập trình trước để đảm bảo:

- Tốc độ quay phù hợp.
- Gia tốc, giảm tốc ổn định.
- Tránh rung lắc hoặc vượt giới hạn.

Đối với hệ thống như lăng phun tự động hoặc trục quay robot:

- Trục Y0 có thể điều khiển hướng quay ngang (Motor 1).
- Trục Y1 điều khiển hướng quay dọc (Motor 2).
- Cảm biến hành trình giới hạn đầu cuối nối về X0–X3 tương ứng để tránh va đập.



Hình 7.21. Bảng Device Comment.

Sau khi đã setting xong cấu hình chúng ta vào mục Device comment để thực hiện gán các giá trị, lệnh vào các biến.

Trong đó các ký tự:

X – Input (tín hiệu ngõ vào số)

Trong điều khiển lăng phun, các tín hiệu X thường được kết nối với nút nhấn điều khiển hướng quay hoặc cảm biến giới hạn hành trình

- X000: Nút nhấn quay trái lăng phun.
- X001: Nút nhấn quay phải lăng phun.
- X002: Cảm biến giới hạn trái – ngăn không cho lăng quay vượt quá biên.
- X003: Cảm biến giới hạn phải – báo lăng đã quay đến ranh giới phải.

PLC đọc các tín hiệu này để quyết định quay trái/phải hay dừng lăng phun.

Y – Output (tín hiệu điều khiển motor quay)

Các tín hiệu Y được xuất ra để điều khiển relay hoặc biến tần nhằm làm quay động cơ dẫn động lăng.

- Y000: Xuất lệnh quay trái (Counter-Clockwise).
- Y001: Xuất lệnh quay phải (Clockwise).

Khi nhấn nút trên bảng điều khiển, PLC sẽ kích hoạt chân Y tương ứng, làm motor quay đúng chiều.

M – Relay trung gian (bit logic xử lý điều kiện)

Đây là các biến nội bộ, không kết nối với thiết bị vật lý, dùng để lưu trạng thái hoặc đánh dấu logic.

- M100: Cờ cho biết motor đang quay trái.
- M101: Cờ cho biết motor đang quay phải.
- M102: Cờ cho biết đang chạy tự động.
- M200 – M203: Dùng làm trung gian điều kiện logic nhiều bước.

Nhờ các bit này, PLC biết được motor đang hoạt động như thế nào và đưa ra quyết định xử lý tiếp theo.

D – Data Register (thanh ghi lưu giá trị đặt)

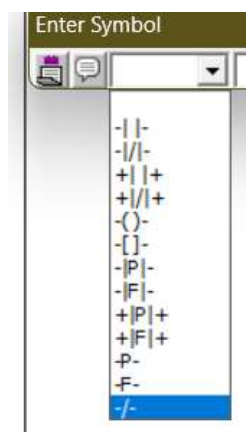
Các thanh ghi D lưu giữ góc quay mong muốn, giá trị phản hồi từ cảm biến vị trí hoặc thông số vận hành.

- D100: Lưu góc quay mục tiêu, ví dụ 90°.
- D101: Giá trị góc quay hiện tại, do cảm biến phản hồi.
- D102: Giá trị tính toán chênh lệch góc.
- D200–D299: Dùng để cấu hình tốc độ, cảnh báo, hoặc thông tin hiển thị lên HMI.

Từ đây, PLC thực hiện so sánh giá trị đặt và thực tế, nếu chưa đạt thì điều khiển motor quay tiếp.

Ta nhập các giá trị tương ứng với các tín hiệu như đã setup ở trên.

Bước 3. Tạo Ladder



Hình 7.22. Các ký hiệu.

1. -| |- : Normally Open Contact

Tiếp điểm thường mở.

Chỉ dẫn điều kiện ĐÚNG (ON) thì mạch được phép chạy tiếp.

Tên thiết bị gán ví dụ như X0, M0, S10...

2. -|/|- : Normally Closed Contact

Tiếp điểm thường đóng.

Chỉ dẫn điều kiện SAI (OFF) thì mạch được phép chạy tiếp.

Dùng để phủ định trạng thái ON của thiết bị.

3. +| |+ : Positive Edge Detection (Rising Edge)

Xung cạnh lên.

Chỉ hoạt động trong xung đầu tiên khi tiếp điểm vừa chuyển từ OFF → ON.

4. +|/|+ : Negative Edge Detection (Falling Edge)

Xung cạnh xuống.

Chỉ hoạt động trong xung đầu tiên khi tiếp điểm vừa chuyển từ ON → OFF.

5. () : Output Coil

Cuộn coil cơ bản

Kích hoạt thiết bị đầu ra như Y0, M100, D200...

6. [] : Output Coil with Retentive Memory

Cuộn coil giữ trạng thái

Không bị mất khi mất nguồn hay chuyển mode RUN/STOP.

7. -|P|- : Pulse Rising Edge Contact

Tương tự như +| |+, nhưng dùng trong một số tình huống lập trình khác.

8. -|F|- : Pulse Falling Edge Contact

Tương tự +|/|+.

9. +|P|+ : Rising Edge with Pulse Signal

Dùng trong điều kiện cần bắt xung theo cạnh lên với độ chính xác cao.

10. +|F|+ : Falling Edge with Pulse Signal

Bắt xung theo cạnh xuống với tín hiệu xung đặc biệt.

11. P : Positive Pulse Coil

Cuộn xung kích hoạt duy nhất 1 chu kỳ quét (scan cycle) khi điều kiện đúng.

12. F : Negative Pulse Coil

Cuộn xung kích hoạt 1 chu kỳ quét khi điều kiện sai.

13. -/ : END Instruction

Lệnh kết thúc chương trình.

Bắt buộc phải có ở cuối mỗi routine chính (main program) để PLC biết khi nào kết thúc 1 chu trình xử lý (scan cycle).

Dùng chuột kéo dây kết nối từ trái sang phải (giống như vẽ sơ đồ điện).

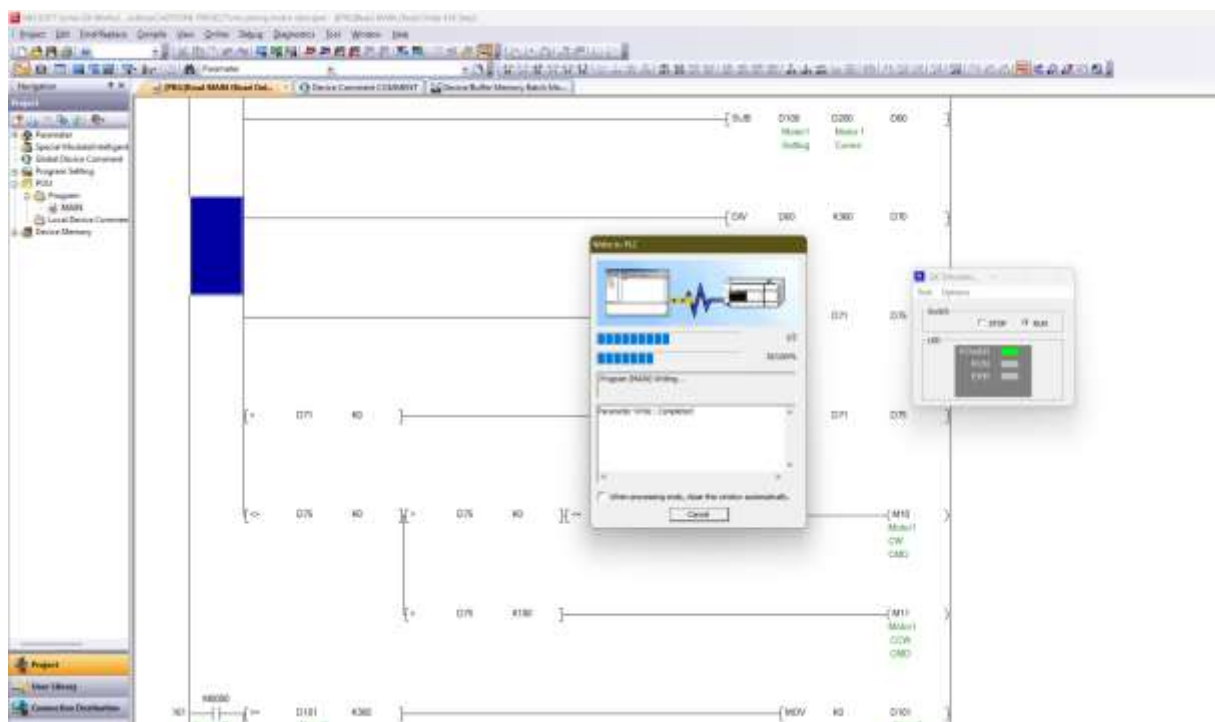
Đảm bảo dòng điện đi từ trái qua phải, không bị ngắt.

Gán ý nghĩa biến.

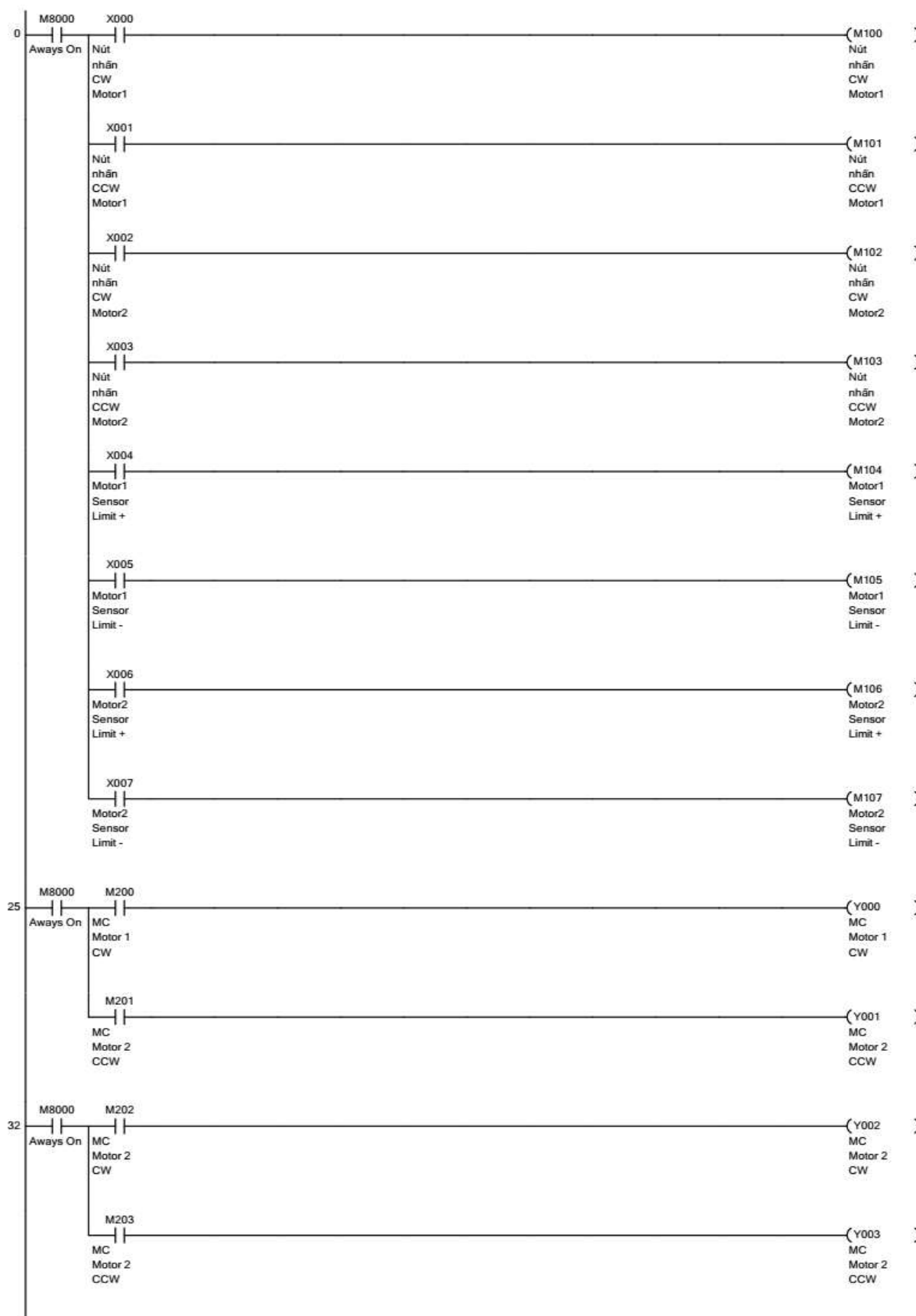
Click vào biểu tượng Device Comment ở thanh công cụ hoặc từ vùng trái Device Comment COMMENT.

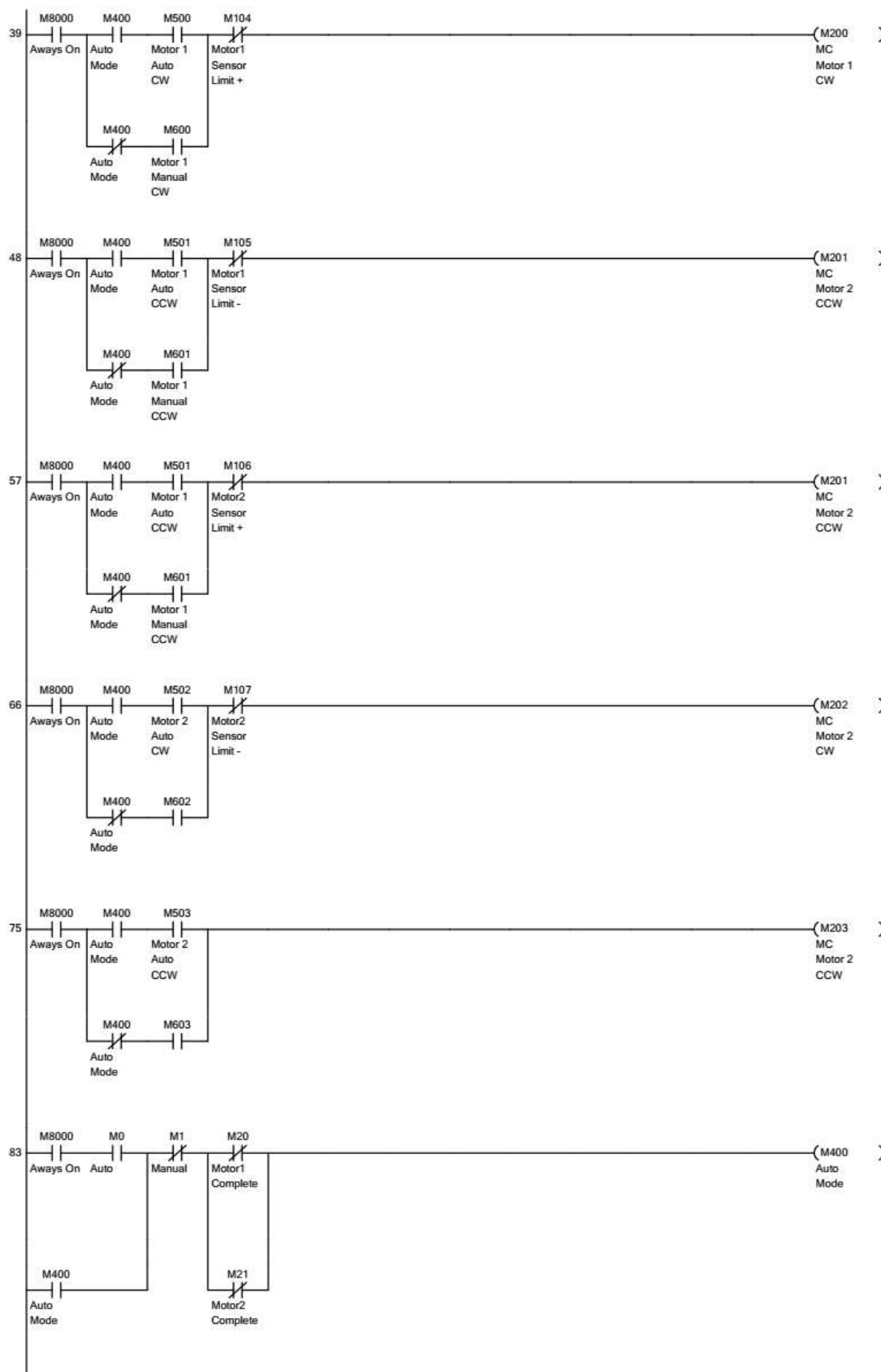
Gán mô tả cho các biến.

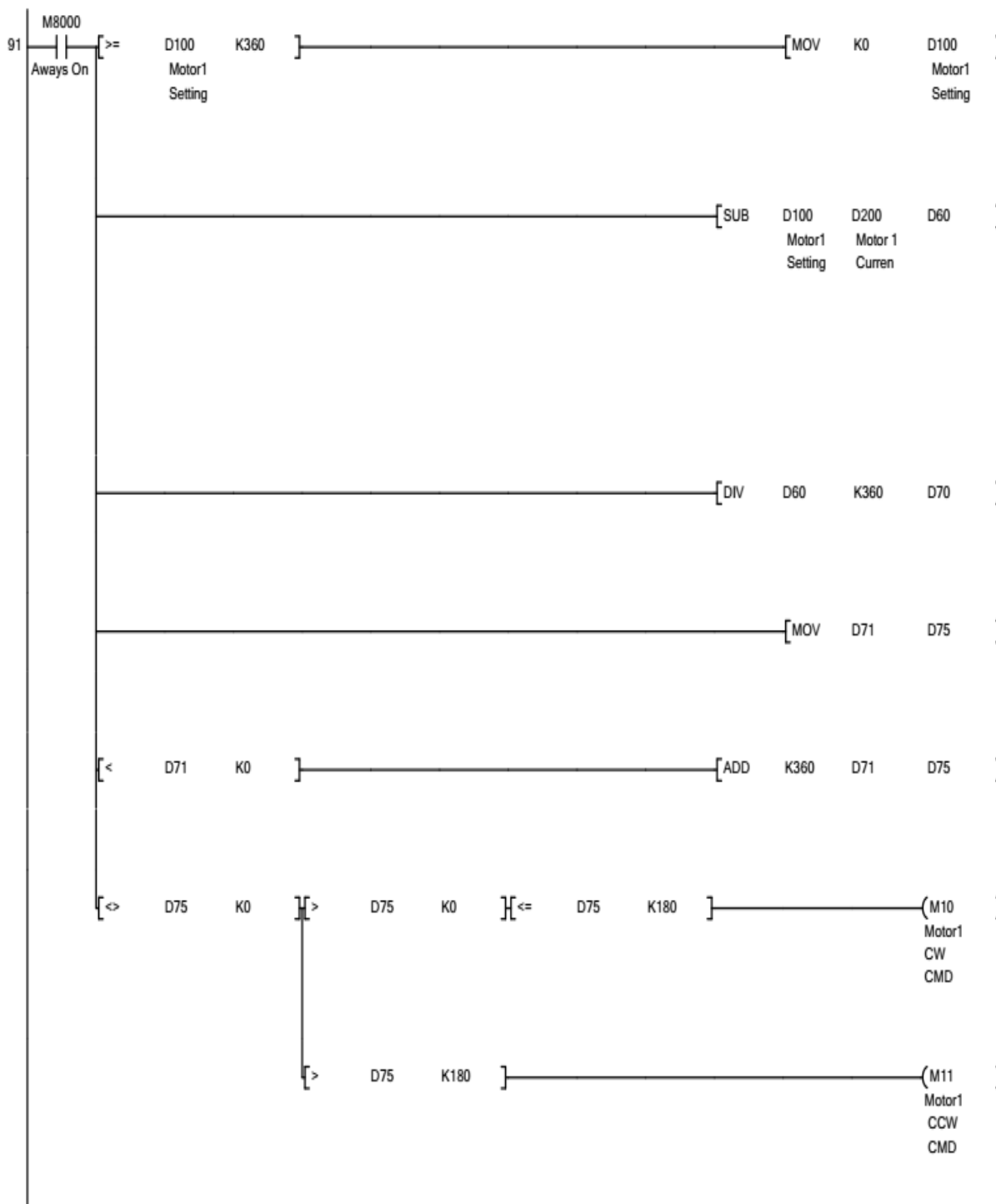
Bước 4: Chạy mô phỏng

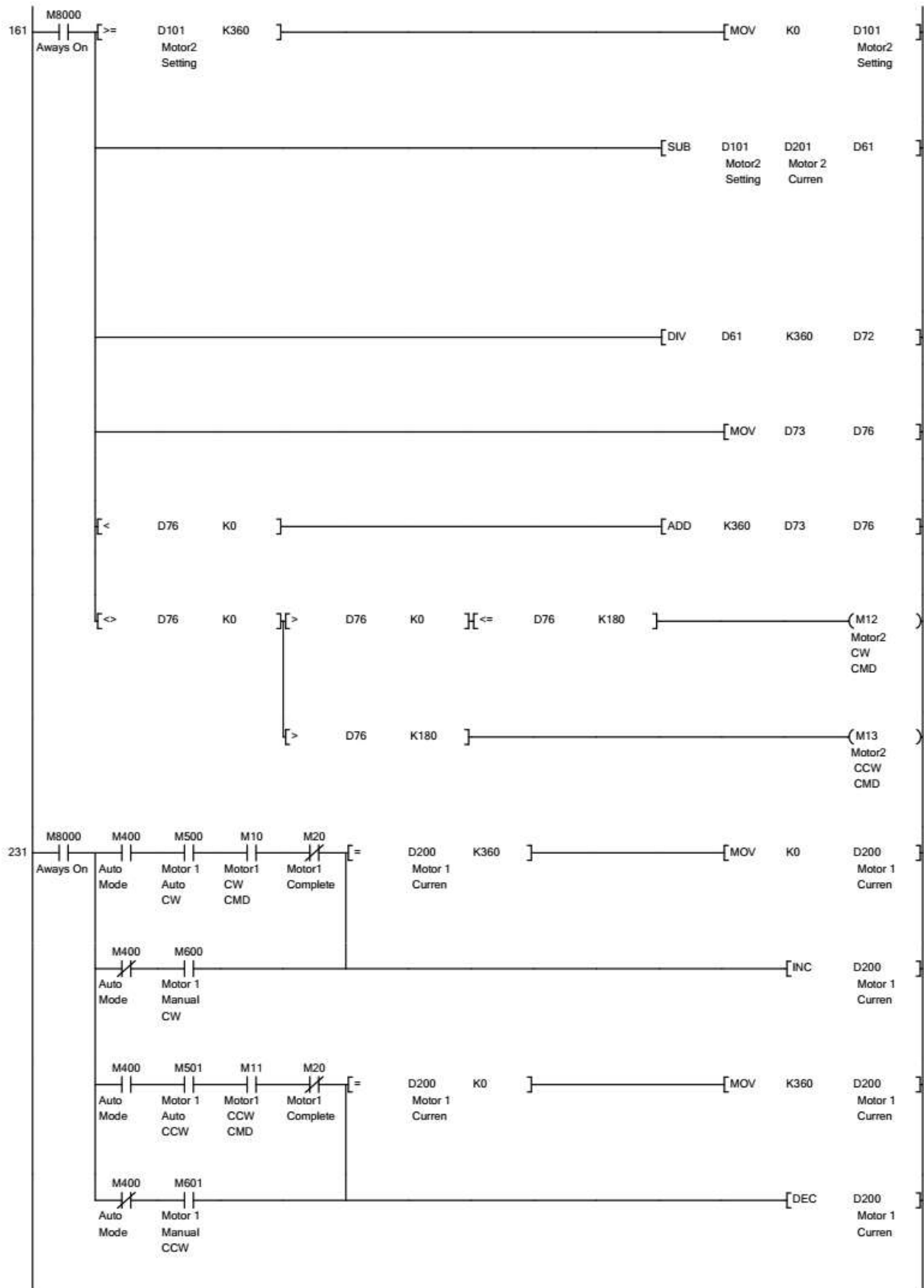


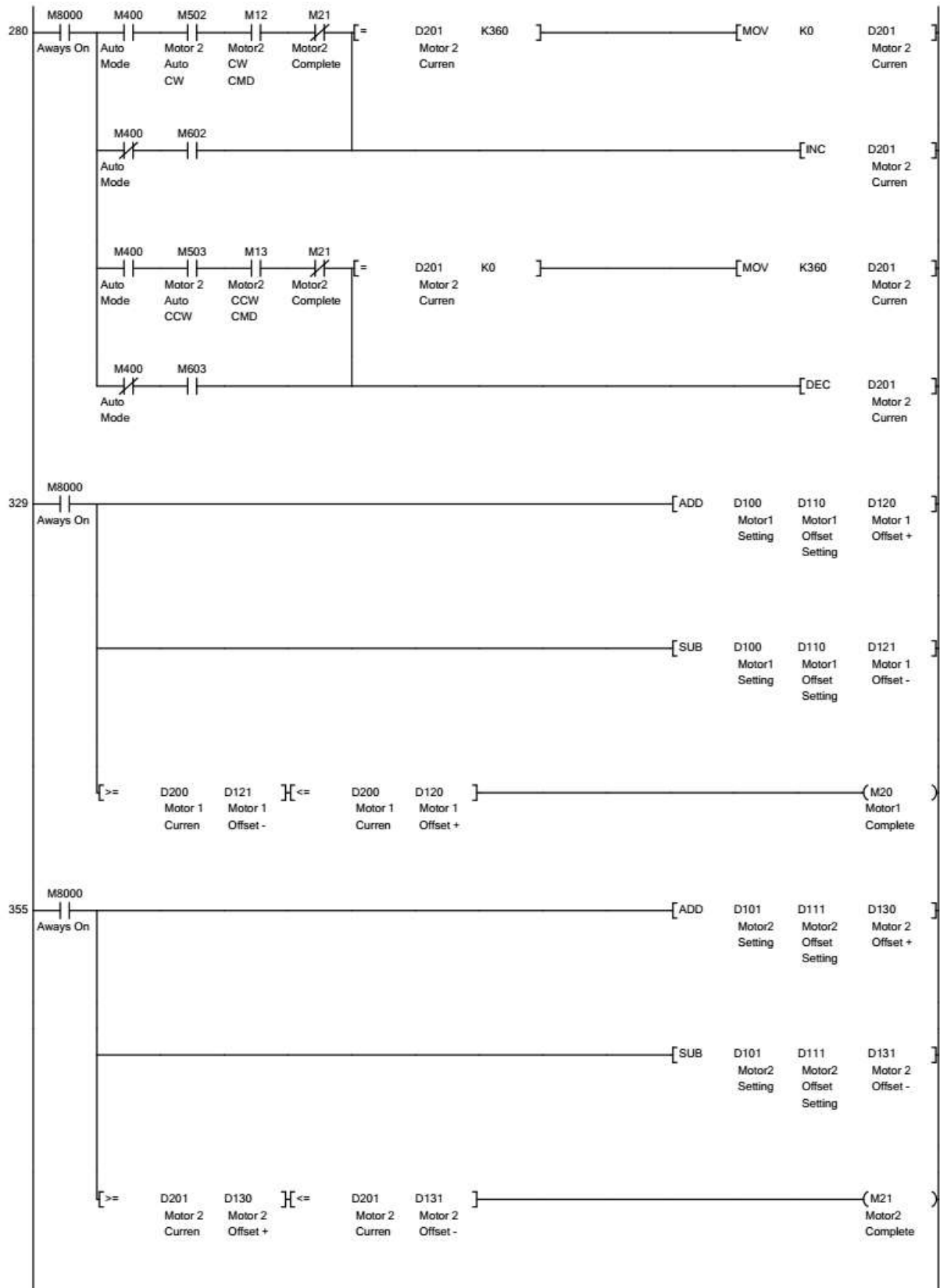
Hình 7.23. Chạy mô phỏng.

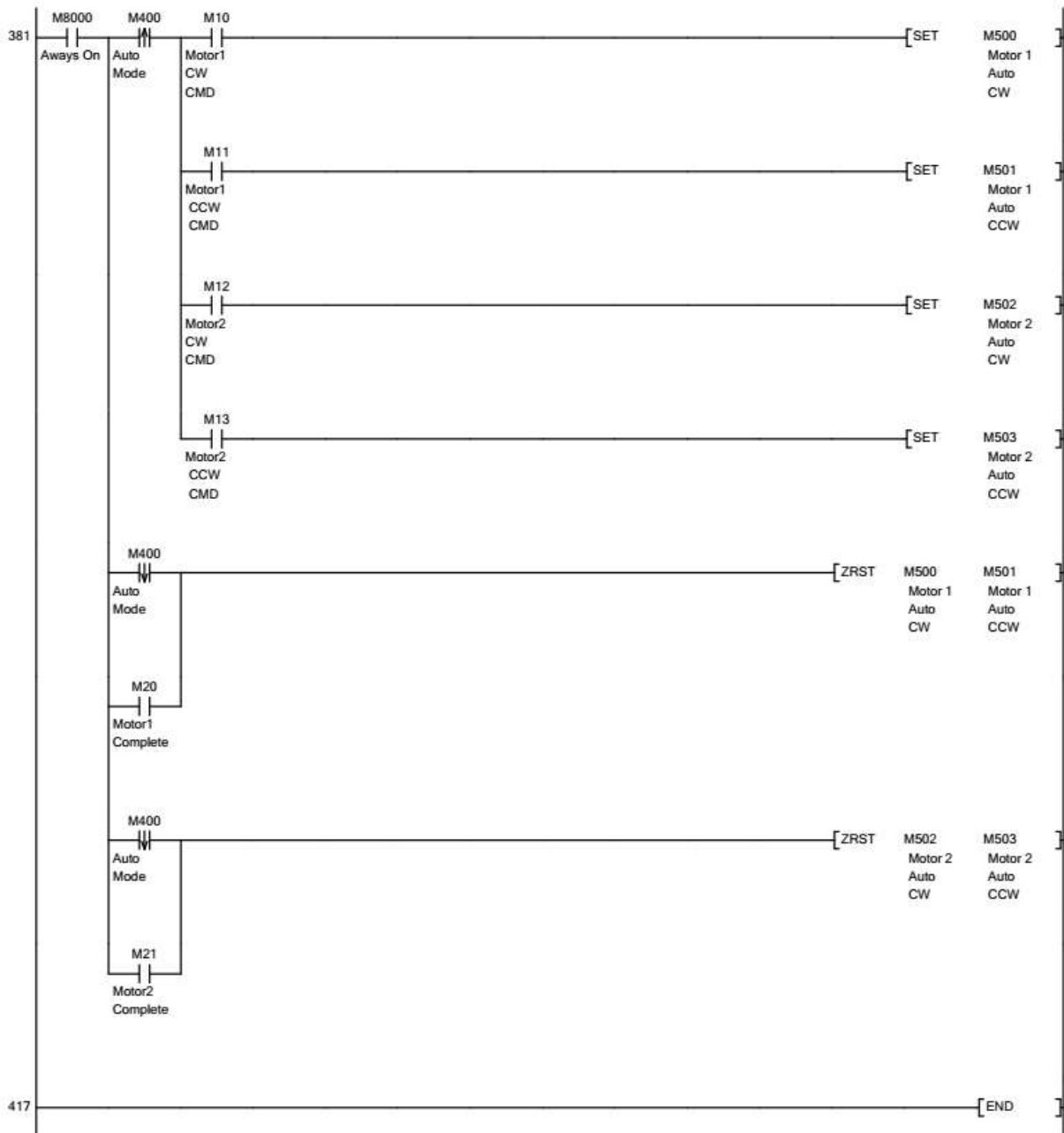












Hình 7.24. Ladder Code.

7.6.8. Kết quả mô phỏng

a. Thiết lập màn hình HMI mô phỏng trên phần mềm GT Designer 3

Trong hệ thống điều khiển tự động lăng phun, giao diện HMI đóng vai trò quan trọng giúp người vận hành theo dõi trạng thái và điều khiển thiết bị dễ dàng, trực quan. Để thiết kế giao diện này, phần mềm GT Designer 3 được lựa chọn vì khả năng tương thích cao với PLC Mitsubishi FX – bộ điều khiển chính của hệ thống.

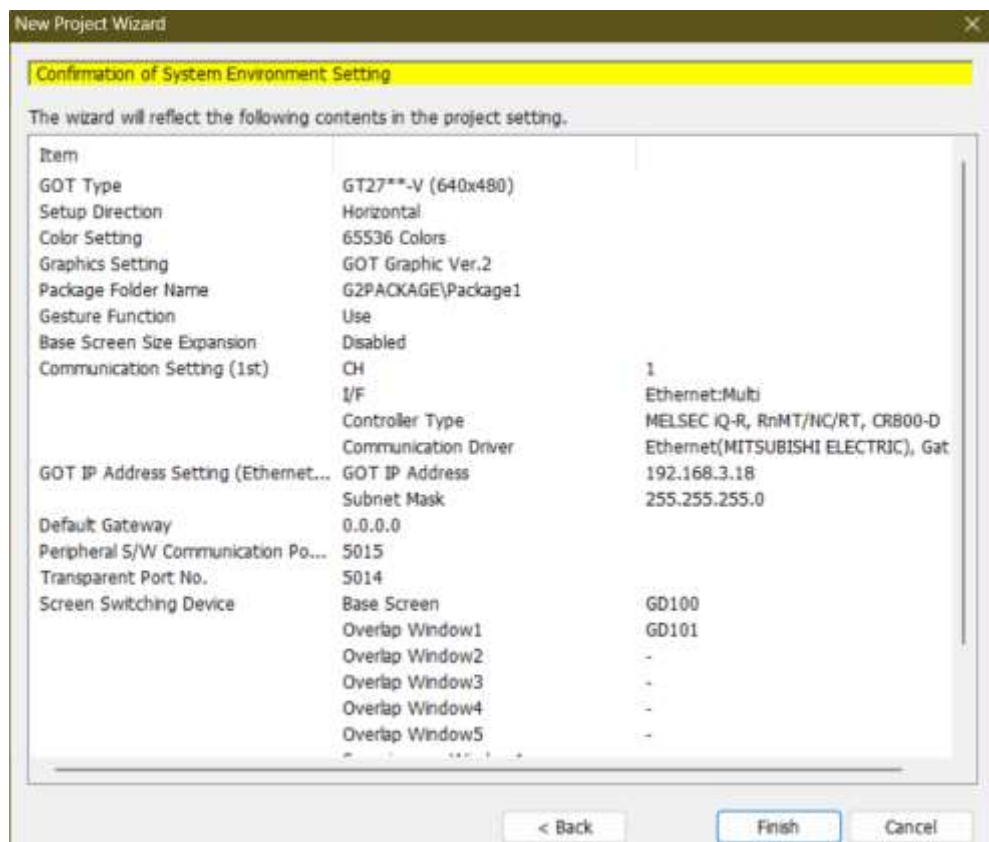
GT Designer 3 cho phép liên kết trực tiếp với các địa chỉ thiết bị (X, Y, M, D) được lập trình trong GX Works2, giúp đồng bộ dữ liệu giữa giao diện và chương trình điều khiển. Ngoài ra, phần mềm còn hỗ trợ mô phỏng trước khi tải xuống thiết bị thực, giảm

thiếu sai sót và nâng cao độ tin cậy vận hành. Do đó, việc sử dụng GT Designer 3 là giải pháp phù hợp để xây dựng giao diện điều khiển lăng phun hiệu quả và thuận tiện.

Trong dự án này, chúng ta đã sử dụng phần mềm GT Designer 3 để tạo giao diện điều khiển và giám sát hoạt động của hai động cơ quay lăng phun trên xe chữa cháy. Giao diện được lập trình cho màn hình cảm ứng GOT2000 series, cụ thể là dòng GT27 với độ phân giải 640x480, sử dụng giao tiếp RS422/485 đến PLC Mitsubishi dòng FX.



Hình 7.25. Thiết lập màn hình, giao diện.



Hình 7.26. Màn hình sau khi thiết lập.

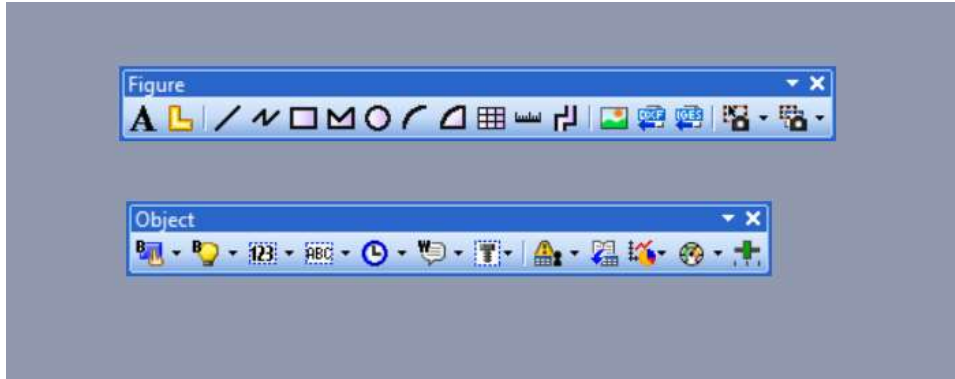
b.Thiết kế các vùng chức năng

1. Tạo nút nhấn điều khiển quay motor

Vào thanh công cụ chọn [Switch] > Bit Switch.

Vẽ 4 nút:

- Quay trái motor 1 gán M600
- Quay phải motor 1 gán M601
- Quay trái motor 2 gán M602
- Quay phải motor 2 gán M603



Hình 7.27. Thanh công cụ.

2. Hiện thị trạng thái motor

Vào [Lamp] > Bit Lamp.

Tạo 4 đèn:

- Quay trái motor 1 M200
- Quay phải motor 1 M201
- Quay trái motor 2 M202
- Quay phải motor 2 M203

Chọn màu đỏ/xanh cho trạng thái OFF/ON.

3. Chọn chế độ Auto / Manual

Vẽ 2 nút Bit Switch: Gán M0 cho Auto, M1 cho Manual.

Chọn kiểu toggle hoặc radio tùy bạn muốn bật/tắt hay chọn 1 trong 2.

4. Nhập góc đặt

Vào [Numerical Input].

Gán địa chỉ:

- Góc đặt motor 1 → D100
- Góc đặt motor 2 → D101

Thiết lập giới hạn giá trị: từ 0 đến 360.

5. Hiện thị góc thực tế (feedback)

Vào [Numerical Display].

Gán địa chỉ:

- Feedback motor 1 → D200
- Feedback motor 2 → D201

Chọn font, định dạng số nguyên, cỡ chữ vừa phải.

6. Thêm nhãn, khung nhóm, hình minh họa

Sử dụng [Text] để ghi chú từng phần: “Góc đặt”, “Feedback”, “Trạng thái motor”, “Chế độ”,...

Dùng [Frame] để tạo khung gọn gàng cho từng vùng.

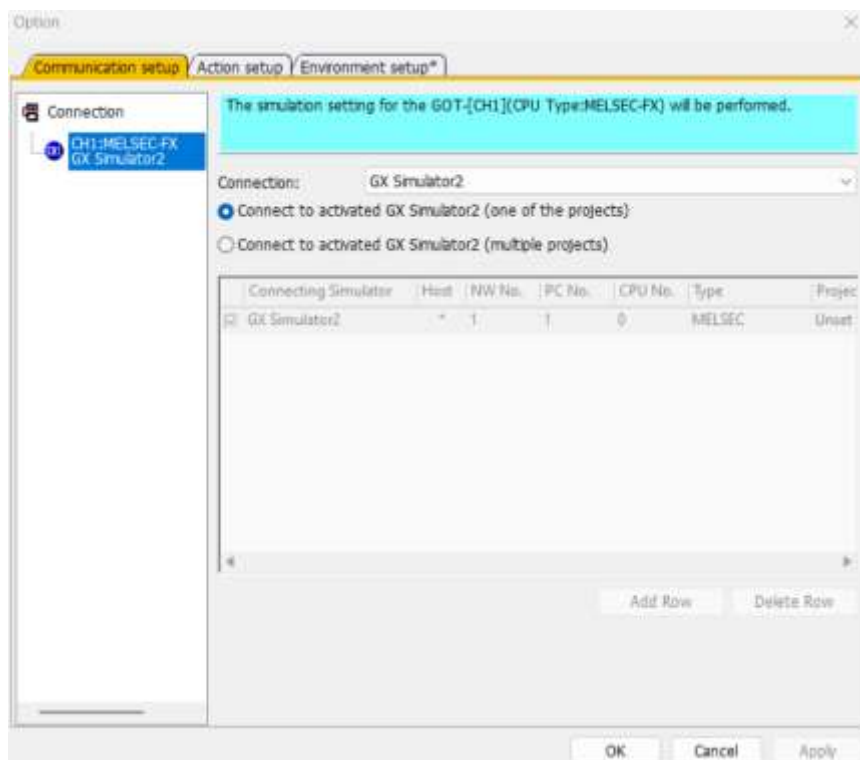


Hình 7.28. Màn hình sau khi thiết lập và gán giá trị.

c. Chạy HMI test phản hồi các nút:

Lưu ý: Khi chạy chương trình HMI cần chạy mô phỏng của ladder code bên GX Works 2 trước khi chạy HMI.

Chọn Simulator: Set



Hình 7.29. Cửa sổ Simulator Set.

Chọn Connection là GX Simulator 2

Ấn chọn OK

Sau đó ấn chọn Simulator: Activate.



Hình 7.30. Cửa sổ mô phỏng.

Tại đây người dùng có thể dùng chuột để tương tác với các nút đã setup sẵn trong màn, khi chọn các nút các giá trị sẽ chạy và gửi tín hiệu đến PLC để thiết lập motor xoay góc theo yêu cầu hoặc góc đã đặt trước.

Ví dụ: Sau khi ấn nút bật chế độ Auto chúng ta nhập góc quay mong muốn, lúc này các giá trị sau khi đã gán tương ứng với các biến sẽ thiết lập tự quay góc đến góc chúng ta đã nhập từ trước.

Với chế độ Manual, trên khung Monitor có 2 nút nhấn thuận nghịch cho 2 motor, chúng ta ấn nút thì màn hình sẽ hiển thị giá trị góc quay từ 0-360 độ, các cảm biến sẽ giám sát và giới hạn giá trị để phòng các trường hợp hỏng hóc.

7.6.9. Kết luận

Sau khi thực hiện mô phỏng hệ thống điều khiển lăng phun tự động trên phần mềm GX Works2 kết hợp với GT Designer 3, có thể khẳng định rằng hệ thống hoạt động đúng theo yêu cầu đề ra. Việc điều khiển motor xoay lăng theo hướng trái/phải được thực hiện mượt mà, phản hồi từ cảm biến vị trí giúp motor dừng chính xác tại góc đặt. Giao diện HMI cho phép người dùng dễ dàng nhập góc quay, theo dõi trạng thái vận hành cũng như chuyển đổi giữa chế độ điều khiển tự động và bằng tay một cách trực quan và linh hoạt.

Tuy nhiên, trong quá trình mô phỏng, một số sai số hoặc hạn chế tiềm ẩn có thể xảy ra và cần được xem xét nếu triển khai thực tế:

Độ trễ truyền thông giữa HMI và PLC: Mặc dù không đáng kể trong mô phỏng, khi đưa vào thực tế có thể phát sinh độ trễ nhỏ khi truyền dữ liệu analog, đặc biệt nếu sử dụng kết nối RS-422 hoặc truyền thông có nhiễu.

Sai số vị trí do cảm biến phản hồi: Giá trị phản hồi từ cảm biến góc (potentiometer hoặc encoder) có thể bị lệch nếu cảm biến bị mòn, nhiễu tín hiệu hoặc sai lệch lắp đặt.

Hiệu ứng quá điều chỉnh khi quay gần vị trí đặt: Nếu không tối ưu logic điều khiển hoặc không có vùng chết (deadband), motor có thể dao động nhẹ quanh vị trí mục tiêu.

Sai sót khi nhập liệu từ HMI: Người vận hành có thể nhập nhầm góc không hợp lệ (quá giới hạn), nếu không có kiểm tra giá trị giới hạn đầu vào thì có thể gây lỗi điều khiển.

Xung đột tín hiệu khi chuyển chế độ: Nếu không lập trình logic xung đột khi chuyển từ chế độ Auto sang Manual, có thể dẫn đến tình trạng tín hiệu điều khiển còn treo, gây lỗi quay ngoài ý muốn.

Không xử lý hết tình huống lỗi sensor: Mất kết nối cảm biến, giá trị vượt ngưỡng hoặc mất phản hồi cần được lập trình rõ cơ chế bảo vệ và cảnh báo.

Kết quả mô phỏng cho thấy hệ thống cơ bản đã hoạt động ổn định, nhưng các tình huống kể trên cần được bổ sung kiểm tra lỗi trong ladder logic cũng như tối ưu thêm trong cấu hình HMI. Việc khắc phục trước khi triển khai thực tế sẽ giúp hệ thống đạt độ tin cậy cao hơn, an toàn hơn trong điều kiện làm việc khẩn cấp như trên xe cứu hỏa.

7.6.10. Tính chọn động cơ điện và hộp giảm tốc

Phần tính chọn này tuân theo TCVN 6629-1:2001– Động cơ điện quay – Phần 1: Đặc tính định mức và hiệu suất.

Dựa trên dữ liệu hiện có, miệng lăng phun được thiết kế với đường kính 125 mm, tương đương với bán kính 0,125 m. Áp suất đầu ra tại miệng lăng đạt giá trị 10 bar, tương đương 1 MPa trong hệ SI. Hệ chất lỏng được phun ra là hỗn hợp nước và bọt, có tỷ trọng gần tương đương với nước, vì vậy trong bước tính toán sơ bộ, có thể sử dụng mật độ nước là 1000 kg/m³ làm cơ sở.

Tiết diện mặt cắt ngang được tính theo công thức:

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,125^2}{4} \approx 0,01227(m^2) \quad (7.4)$$

Từ đó, lực đẩy phản lực tại miệng lăng do áp suất được tính theo:

$$F = P \cdot A = 1 \times 10^6 \cdot 0,01227 \approx 12270(N) \quad (7.5)$$

Đây là lực có xu hướng đẩy lăng phun theo hướng ngược lại dòng phun, và cũng chính là thành phần gây ra mô-men tại trục quay nếu điểm đặt lực không trùng với tâm quay. Trong thiết kế thực tế, lực này tác động tại một khoảng cách tương đương 0.4 mét từ tâm quay của cụm lăng (khoảng cách từ trục quay đến miệng phun), mô-men xoắn phản lực được tính như sau:

$$M = F \cdot r = 12270 \times 0,4 \approx 4908(Nm) \quad (7.6)$$

Đây là giá trị mô-men cực đại lý thuyết mà hệ thống truyền động phải chống lại trong tình huống xấu nhất, khi dòng phun đạt áp lực tối đa và được định hướng tại vị trí tạo mô-men lớn nhất. Tuy nhiên, trong thực tế, phần lớn mô-men này sẽ được triệt tiêu hoặc giảm tải thông qua cấu trúc khung gá cố định trên nóc xe, khớp quay có ma sát hoặc hệ giảm chấn cơ khí. Do đó, hệ thống truyền động chỉ cần chịu khoảng 15–20% mô-men này, chủ yếu là trong pha động, khi thay đổi hướng phun. Ta giả định hệ số tải hữu hiệu là 0.2, từ đó mô-men cần thiết thực tế sẽ là:

$$M_{req} = 4908 \times 0,2 \approx 982(Nm) \quad (7.7)$$

Hệ số tải hữu hiệu, hay còn gọi là hệ số tải thực tế phản ánh tỷ lệ giữa mức tải thực tế mà hệ thống thường xuyên phải chịu trong quá trình làm việc so với mức tải cực đại (hoặc lý thuyết) có thể xảy ra trong điều kiện bất lợi nhất.

Với mô-men yêu cầu này, motor servo có công suất 1,5 kW với mô-men đầu ra danh định là 9,5 Nm sẽ đủ để đáp ứng nếu không có hộp giảm tốc hỗ trợ. Để nâng mô-men đầu ra lên tới 982 Nm, cần sử dụng hộp giảm tốc hành tinh có tỷ số truyền phù hợp. Giả sử lựa chọn hộp giảm tốc có tỷ số truyền $i=120$, với hiệu suất hộp giảm tốc 2 cấp $\eta = 0,85$ mô-men lý thuyết đầu ra sẽ là:

$$M_{out} = 9,5 \times 120 \times 0,85 = 966(Nm) \quad (7.8)$$

Đây là giá trị khá tiệm cận với mô-men yêu cầu thực tế 982 Nm, và đủ đảm bảo trong điều kiện vận hành thực tế, khi có tính đến sai số đo lường và đặc tính đàn hồi của

hệ cơ khí. Mặt khác, hệ thống cơ khí còn có thể điều chỉnh góc phun trong giới hạn, nên mô-men đầu ra này là hợp lý. Tốc độ đầu ra sau giảm tốc là:

$$n_{out} = \frac{n_{motor}}{i} = \frac{3000}{120} = 25(v/ph) \quad (7.9)$$

Tương ứng với khoảng 180° quay trong 1 giây, cho phép điều chỉnh hướng lăng phun nhanh chóng mà vẫn trong giới hạn an toàn cơ học.

Từ các phân tích trên, có thể kết luận rằng hệ thống cần sử dụng motor servo công suất 1,5 kW trở lên, mô-men danh định khoảng 4,9 Nm, kết hợp với hộp giảm tốc hành tinh tỉ số truyền 1:120. Phương án này không chỉ đảm bảo mô-men đầu ra đủ lớn mà còn kiểm soát tốc độ và đáp ứng chính xác yêu cầu điều khiển hướng dòng phun trong điều kiện môi trường động, rung và áp lực cao như trên xe cứu hỏa.

Dựa trên quá trình phân tích, tính toán mô-men phản lực thực tế tại lăng phun và yêu cầu an toàn trong quá trình vận hành, lựa chọn motor và hộp giảm tốc phải đảm bảo hai tiêu chí cốt lõi: mô-men đầu ra đủ lớn để giữ ổn định hướng phun, đồng thời tốc độ quay vừa phải, không gây nguy cơ rung lắc hoặc hư hỏng cơ cấu truyền động. Việc lựa chọn cũng cần xét đến khả năng điều khiển chính xác theo vị trí, đặc biệt khi lăng phun được điều khiển tự động bằng PLC.

Sau khi tính toán mô-men phản lực cần triệt tiêu là khoảng 982 Nm, phương án tối ưu là sử dụng servo motor công suất 1.5 kW kết hợp với hộp giảm tốc hành tinh có tỷ số truyền từ $i = 100$ đến $i = 120$. Cấu hình này cho phép nâng mô-men đầu ra lên đến khoảng 950–970 Nm, đủ để xử lý phản lực trong phần lớn thời gian vận hành thực tế, đồng thời đảm bảo độ chính xác nhờ có phản hồi vị trí từ encoder.

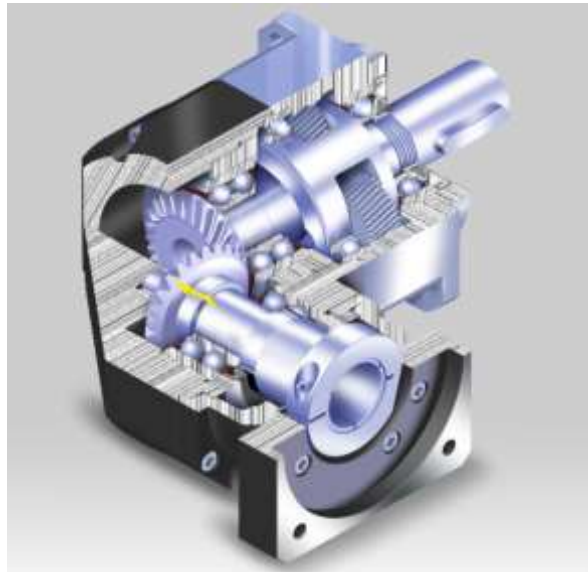
Loại motor được đề xuất là servo motor Mitsubishi dòng HG-SR152B, có công suất định mức 1.5 kW, mô-men định mức 9.5 Nm, tích hợp encoder độ phân giải cao. Động cơ này tương thích hoàn toàn với bộ điều khiển MR-JE, cho phép kết nối trực tiếp với PLC Mitsubishi FX thông qua tín hiệu xung điều khiển (PULSE/DIR) hoặc truyền thông đơn giản. Sự lựa chọn này đảm bảo tính đồng bộ về phần cứng, tài liệu kỹ thuật đầy đủ và dễ dàng triển khai trong công nghiệp thực tế.



Hình 7.31. Servo Motor Mitsubishi HG-KN43J-S100.

Về hộp giảm tốc, nên sử dụng loại hộp giảm tốc hành tinh ABR-115 của hãng Shimpo, Apex Dynamics hoặc tương đương, với tỷ số truyền $i = 120$. Dòng hộp số này có thiết kế nhỏ gọn, hiệu suất truyền động cao ($\eta \approx 0.85$), đặc biệt là độ rơ rất nhỏ (≤ 7 arcmin), phù hợp với các hệ thống yêu cầu điều khiển chính xác như cụm định hướng lăng phun. Việc kết nối cơ khí giữa trục motor và hộp giảm tốc cũng dễ dàng thông qua mặt bích chuẩn công nghiệp.

Để đáp ứng đầy đủ các yêu cầu về mô-men, độ ổn định, khả năng phản hồi nhanh và tích hợp với PLC FX, cấu hình được lựa chọn là: Mitsubishi HG-SR152B (1.5 kW, 3000 vòng/phút, mô-men 9.5 Nm).



Hình 7.32. Hộp giảm tốc hành tinh ABR-115.

7.7. Tính chọn van nạp từ thùng chứa đi vào bơm

7.7.1. Tính toán chọn van nạp

Phần tính chọn này tuân thủ theo tiêu chuẩn Việt Nam về TCVN 3734:1982 – Van công nghiệp – Kích thước cơ bản.

Trong hệ thống cấp nước chuyên dụng trên xe chữa cháy, van nạp được bố trí tại đầu ra của thùng chứa, nằm trên tuyến đường ống hút đi vào bơm chính. Bơm trong hệ thống này được dẫn động từ trục trích công suất (PTO) của hộp số xe, nên yêu cầu về ổn định dòng hút và độ mở hoàn toàn của tuyến ống là rất quan trọng. Van cần đảm bảo khả năng dẫn lưu lượng lớn mà không gây sụt áp, đồng thời dễ vận hành, bảo trì và lắp đặt trong không gian giới hạn của khoang kỹ thuật.

Theo thông số thiết kế, bơm chính của hệ thống có thể vận hành với lưu lượng cực đại $Q = 10.000$ lít/phút, tức:

$$Q = \frac{10000}{60} = 166,67(l / s) = 0,16667(m^3 / s) \quad (7.10)$$

Đường ống cấp từ thùng chứa đến đầu bơm được lựa chọn với đường kính danh định DN250, tương đương với đường kính trong thực tế là $D = 0,25$ m. Từ đó, tiết diện dòng chảy qua ống được xác định bằng công thức:

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,25^2}{4} = 0,0491(m^2) \quad (7.11)$$

Với lưu lượng và tiết diện này, tốc độ trung bình của dòng nước qua đường ống được tính theo biểu thức:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,16667}{0,0491} \approx 3,4(m/s) \quad (7.12)$$

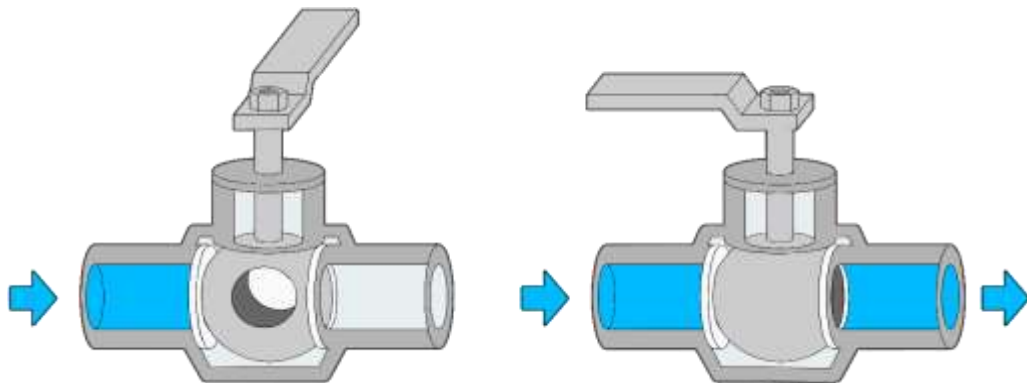
Tốc độ dòng chảy này nằm trong giới hạn cho phép trên đường hút, không gây ra xâm thực hoặc rung động cho cụm bơm. Do đó, kích thước ống DN250 là hợp lý và được giữ nguyên trong việc lựa chọn thiết bị phụ trợ.

7.7.2. Phương án chọn van nạp

Trong quá trình thiết kế hệ thống cấp nước từ thùng chứa đến bơm chính trên xe chữa cháy, việc lựa chọn loại van nạp phù hợp là yếu tố then chốt nhằm đảm bảo tính liên tục của dòng cấp, an toàn trong vận hành và khả năng thao tác linh hoạt tại hiện trường. Vị trí của van đặt ngay đầu hút bơm – nơi áp suất rất thấp – nên mọi tổn thất cục bộ hoặc hiện tượng rò khí đều có thể ảnh hưởng nghiêm trọng đến khả năng hút và hoạt động ổn định của cụm bơm. Do đó, van cần có tiết diện dòng đủ lớn, độ kín cao, đóng/mở nhanh và dễ dàng thao tác trong điều kiện dã chiến.

Sau khi khảo sát, ba phương án van phù hợp về mặt kết cấu cơ khí đã được đưa vào phân tích chi tiết, bao gồm: van bi, van cổng và van bướm. Mỗi phương án đều có ưu điểm nhất định, tuy nhiên cũng đi kèm với những hạn chế riêng khi ứng dụng trong môi trường thực tế là xe chuyên dùng.

Phương án 1: Van bi (Valve Ball)



Hình 7.33. Van bi

Nguyên lý hoạt động:

Van bi hoạt động nhờ một viên bi tròn có khoan lỗ xuyên tâm, được gắn vào trục van. Khi xoay tay gạt 90°, lỗ trên viên bi sẽ trùng hoặc lệch với dòng chảy, tương ứng với trạng thái mở hoặc đóng van.

Ưu điểm:

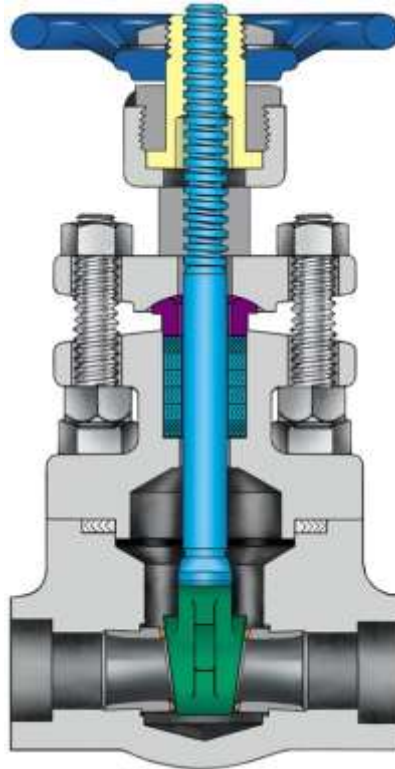
- Đóng/mở cực nhanh (chỉ 1/4 vòng quay).
- Độ kín tuyệt đối nhờ tiếp xúc chính xác giữa bi và gioăng làm kín.
- Không làm giảm tiết diện dòng khi mở hoàn toàn.

Nhược điểm:

- Kết cấu lớn và nặng khi tăng kích thước (với DN250).
- Mô-men xoay lớn, khó thao tác thủ công nếu không có bộ trợ lực.
- Giá thành cao, không phổ biến ở kích cỡ lớn cho ứng dụng cơ động.

Đánh giá: Không chọn. Mặc dù van bi có hiệu năng cao và độ kín tốt, nhưng do kích thước cổng kênh và thao tác khó khăn ở DN250, nó không phù hợp với yêu cầu gọn nhẹ và tính cơ động trên xe chữa cháy.

Phương án 2: Van cổng (Gate Valve)



Hình 7.34. Van cổng.

Nguyên lý hoạt động: Van cổng sử dụng một cánh trượt dạng bản nằm vuông góc với hướng dòng chảy. Khi xoay tay quay, trục van sẽ nâng hoặc hạ cánh van, từ đó mở hoặc đóng dòng.

Ưu điểm:

- Khi mở hoàn toàn, dòng chảy đi qua không bị cản trở, tổn thất áp suất rất nhỏ.
- Cấu tạo đơn giản, độ bền cao, phù hợp với lưu lượng lớn.

Nhược điểm:

- Hành trình đóng/mở dài, thao tác chậm, mất nhiều vòng quay.
- Kết cấu dài theo chiều cao dẫn đến khó lắp đặt trong khoang thiết bị hạn chế.
- Không phù hợp với thao tác nhanh hoặc khẩn cấp.

Đánh giá: Không chọn. Dù có ưu thế về độ mở lớn và tổn thất nhỏ, van cổng lại bất lợi về thao tác, không gian lắp đặt và thời gian phản ứng. Điều này mâu thuẫn với yêu cầu thực tiễn trong môi trường chữa cháy, nơi mọi thao tác cần nhanh chóng, trực tiếp và hiệu quả.

Phương án 3: Van bướm (Butterfly Valve)



Hình 7.35. Van bướm Samwoo SW-HRW FLANGE TYPE DN250.

Nguyên lý hoạt động: Van bướm có một đĩa tròn đặt giữa thân van, được gắn vào trục quay. Khi trục quay 90° , đĩa sẽ từ vị trí chắn ngang dòng sang song song với dòng, tương ứng với đóng hoặc mở.

Ưu điểm:

- Kết cấu nhỏ gọn, ngắn chiều dài và chiều cao.
- Thao tác nhanh, dễ sử dụng (chỉ $1/4$ vòng quay tay gạt).
- Giá thành hợp lý, có sẵn trên thị trường với nhiều kích thước.
- Dễ bảo trì, thay thế, phù hợp với ứng dụng thực địa.

Nhược điểm:

- Khi mở hoàn toàn vẫn tồn tại đĩa trong dòng chảy, gây tổn thất áp suất cao hơn van cổng.
- Cần chọn vật liệu gioăng phù hợp để đảm bảo độ kín lâu dài.

Đánh giá: Chọn. Van bướm đáp ứng tốt các tiêu chí về thao tác nhanh, kích thước gọn, lưu lượng lớn và giá thành hợp lý. Tuy có tổn thất áp lực cao hơn so với van cổng, nhưng điều này là chấp nhận được trong điều kiện dòng hút áp thấp và lưu lượng cao. Đặc biệt, khả năng thao tác nhanh chóng và dễ dàng là yếu tố then chốt khi triển khai tại hiện trường.

Kết luận: Sau khi phân tích đầy đủ nguyên lý hoạt động và các yếu tố kỹ thuật của từng phương án, van bướm được lựa chọn là giải pháp tối ưu cho vị trí van nạp từ thùng chứa đến bơm. Cụ thể, van bướm Samwoo SW-HRW FLANGE TYPE DN250 được đề xuất sử dụng, với thân gang cầu, đĩa inox, gioăng EPDM, kết nối wafer và áp suất làm việc PN16. Loại van này đảm bảo lưu lượng thiết kế 10.000 Lít/phút, dễ lắp đặt và bảo trì, phù hợp với tính chất cơ động và thao tác khẩn cấp đặc trưng của xe chuyên dùng chữa cháy.

7.8. Tính chọn van xả tràn cho xi-téc

Phần tính chọn này tuân theo tiêu chuẩn Việt Nam về TCVN 9975-3:2013 (ISO 16135) – Van dùng cho hệ thống ống dẫn nước – Van bi.

7.8.1. Yêu cầu kỹ thuật

- Thoát nhanh toàn bộ dung dịch bằng trọng lực.
- Độ kín cao, tránh rò rỉ trong quá trình vận chuyển.
- Chịu được môi trường chứa tương ứng (nước hoặc dung dịch bọt).
- Dễ thao tác, bảo trì và tương thích không gian lắp đặt thực tế.

7.8.2. Tính toán chọn van xả tràn cho xi-téc

Trong hệ thống chuyên dùng trên xe chữa cháy, hai thùng chứa riêng biệt đảm nhiệm chức năng lưu trữ chất lỏng phục vụ phun chữa cháy, bao gồm: một thùng chứa nước sạch dung tích 2.500 lít và một thùng chứa dung dịch bọt chữa cháy dung tích 6.500 lít. Cả hai thùng đều được thiết kế có vị trí xả đáy nhằm phục vụ công tác vệ sinh, súc rửa, thay đổi chất chứa hoặc bảo trì hệ thống.

Để đảm bảo khả năng thoát toàn bộ chất lỏng trong thời gian hợp lý, việc lựa chọn van xả phù hợp được thực hiện dựa trên các tiêu chí: kích thước miệng xả, lưu lượng yêu cầu, loại chất lỏng sử dụng, tính chất cơ học và hóa học của môi trường làm việc, khả năng thao tác nhanh tại hiện trường, và cuối cùng là mức độ phổ biến – dễ thay thế thực tế.

Kích thước xả cố định – đường kính 2.5 inch (DN65).

Cả hai thùng đều có lỗ xả đường kính tiêu chuẩn 2.5 inch (63.5 mm $\approx$ DN65). Với chiều cao cột chất lỏng xấp xỉ 1.2 mét (chiều cao thùng).

Lưu lượng dòng chảy được xác định theo công thức động lực học chất lỏng:

$$Q = C_d \cdot A \cdot \sqrt{2gh} \quad (7.13)$$

Trong đó:

Q là lưu lượng thể tích m^3 / s

C^d là hệ số lưu lượng, phụ thuộc vào dạng miệng xả và đặc tính dòng chảy. Với van bi hoặc lỗ tròn có miệng ngắn, hệ số C^d phổ biến trong khoảng 0,60 – 0,65. Trong tính toán này, lấy $C^d = 0,62$

A là tiết diện dòng chảy qua miệng xả (m^2)

$g = 9,81(m / s^2)$ là gia tốc trọng trường

h là chiều cao cột chất lỏng phía trên miệng xả (m), ở đây giả định $h = 1,2m$

Vậy ta có:

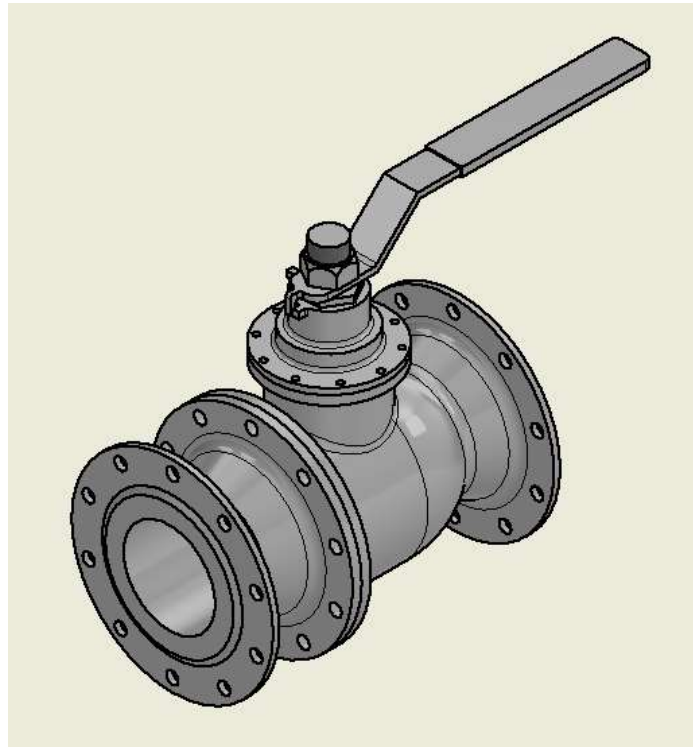
- Với thùng nước 2.500 L: thời gian xả khoảng **4,4 phút**.
- Với thùng bọt 6.500 L: thời gian xả khoảng **11,4 phút**.

Lựa chọn thiết bị van xả cho 2 thùng 2500 lít và 6500 lít.

Chất lỏng chứa là nước sạch và bọt, yêu cầu vật liệu an toàn, không phản ứng, gioăng bền và chống rò rỉ. Không cần yêu cầu cao về kháng hóa chất.

Tên sản phẩm: Van bi tay gạt ARV-800FE(J)

- Mặt bích tiêu chuẩn BS4504 PN16.
- Vật liệu: Gang cầu GGG40.
- Bi van: Inox 304 (CF8).
- Goăng làm kín: PTFE (Teflon) – kháng hóa chất nhẹ, không mục trong dung dịch bọt.
- Vận hành: Tay gạt có khóa định vị.



Hình 7.36. Van bi tay gạt ARV-800FE.

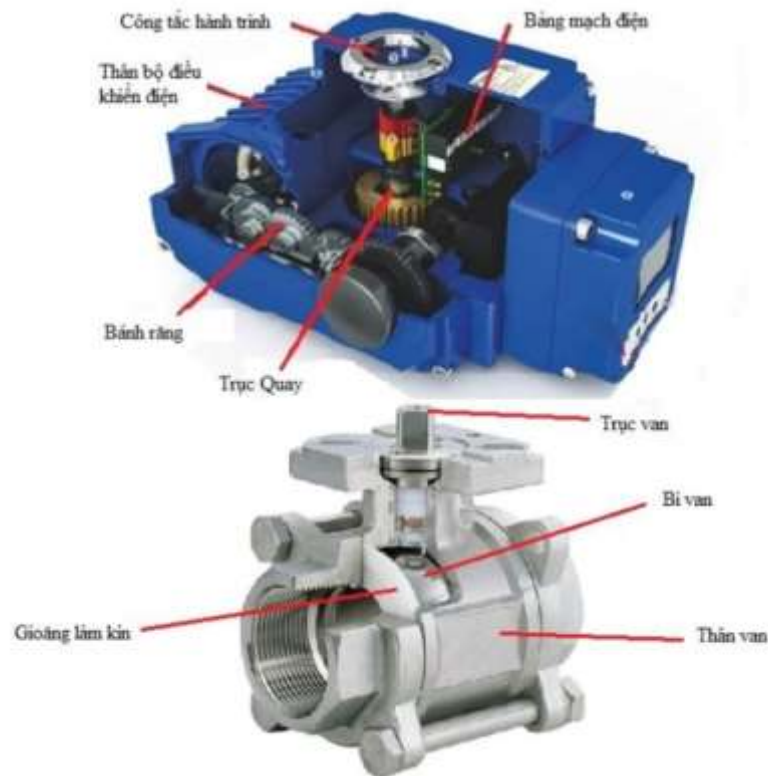
7.9. Chọn van cho lăng cầm tay và bộ chia tỷ lệ nước/bọt

7.9.1. Nguyên lý hoạt động

Trong hệ thống chữa cháy trên xe chuyên dùng, các lăng phun cầm tay thường được cấp nước từ các nhánh ống độc lập, điều khiển thông qua van đóng/ngắt đặt tại từng đầu nhánh bên cạnh đó 1 phần bọt đi qua bộ chia tỷ lệ sẽ có 3 van được sắp xếp để điều khiển đóng mở phù hợp. Trong thiết kế đề xuất, việc sử dụng van bi điều khiển điện ON/OFF là giải pháp tối ưu nhằm thay thế thao tác van tay truyền thống. Van sẽ nhận tín hiệu từ PLC hoặc công tắc điều khiển, thực hiện đóng hoặc mở hoàn toàn nhằm cấp hoặc ngắt dòng nước/bọt đến từng lăng phun và đường dẫn bọt.

Đặc điểm của hệ thống không yêu cầu điều tiết lưu lượng theo thời gian thực, mà chỉ cần thao tác đơn giản: mở để phun hoặc đóng khi không sử dụng, do đó việc sử dụng van bi điện ON/OFF là hoàn toàn hợp lý, đảm bảo tính nhanh chóng, độ kín cao và chi phí vận hành thấp.

Hệ thống điều khiển bao gồm ba van bi ON/OFF điều khiển bằng tín hiệu điện, trong đó có hai van cấp cho lăng phun cầm tay và một van cấp cho bộ chia tỉ lệ trộn bọt với nước. Các van này được điều khiển dựa trên trạng thái hoạt động của bơm nước chính trong hệ thống và có thể được mở thủ công từ giao diện HMI hoặc công tắc cơ trong trường hợp đặc biệt.



Hình 7.37. Cấu tạo van bi điều khiển.

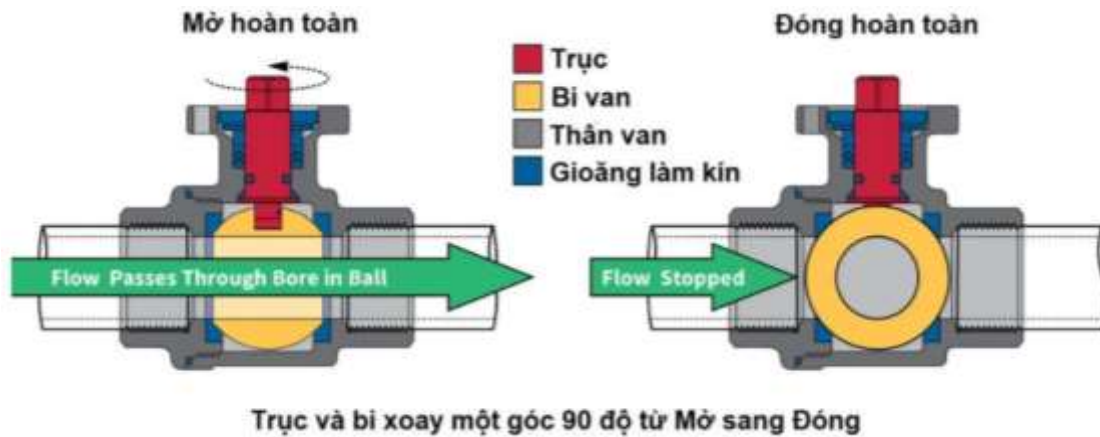
Nguyên lý hoạt động được lập trình theo logic sau:

Khi bơm nước hoạt động (tín hiệu đầu vào từ relay báo bơm chạy ở trạng thái ON), PLC lập tức cấp tín hiệu đến cả ba van để mở đồng thời. Điều này nhằm đảm bảo rằng ngay khi có áp lực từ bơm, các nhánh ra luôn sẵn sàng cấp nước đến các điểm phun. Van đi ra bộ chia tỷ lệ đảm nhiệm vai trò dẫn nước đến bộ trộn bọt nên được ưu tiên mở sớm nhất để kích hoạt sẵn quy trình tạo bọt nếu cần thiết.

Tuy nhiên, trong những trường hợp cụ thể như thao tác bảo trì, không cần sử dụng đến một trong các lăng phun, hoặc khi muốn ngắt riêng bộ chia bọt, hệ thống cũng cho phép vận hành thủ công từng van. Điều này được thực hiện bằng cách kết hợp giữa công tắc điều khiển riêng từng van (hoặc thông qua HMI), cùng với trạng thái logic “hoặc” giữa tín hiệu bơm chạy và tín hiệu điều khiển thủ công.

Sau khi PLC nhận tín hiệu bơm chạy hoặc lệnh điều khiển bằng tay, nó sẽ xuất tín hiệu ra ngõ điều khiển Digital Output (DO) tương ứng với từng van. Tín hiệu này kích hoạt mô tơ điều khiển điện của van, làm van xoay mở hoặc đóng. Khi bơm ngừng hoạt động và không có yêu cầu thủ công, tín hiệu điều khiển mất, van sẽ trở về trạng thái đóng để ngăn dòng nước tự chảy hoặc rò rỉ qua đầu phun.

Mỗi van được lập trình hoạt động độc lập, có thể kiểm soát trạng thái mở/đóng riêng, nhưng luôn ưu tiên tín hiệu bơm hoạt động để mở mặc định, sau đó mới cho phép ngắt chọn lọc từng van bằng điều kiện logic bổ sung. Điều này đảm bảo cả tính tự động hóa, an toàn khi khẩn cấp, đồng thời giữ được tính linh hoạt trong vận hành thực tế.



Hình 7.38. Van điều khiển bi điện.

7.9.2. Chọn van cho lăng cầm tay và bộ chia tỷ lệ bọt/nước

Để lựa chọn van bi điều khiển điện ON/OFF phù hợp cho từng lăng phun cầm tay và bộ chia tỷ lệ, một số thông số thiết kế và giả định được xác lập như sau:

Áp suất làm việc tại vị trí lắp van được xác định là 12 bar (1,2 MPa), phù hợp với điều kiện vận hành thực tế từ bơm chính trên xe cứu hỏa.

Chất lỏng qua van là nước hoặc hỗn hợp nước – bọt, ở nhiệt độ không quá 40°C, do đó vật liệu van cần chịu áp lực, kháng ăn mòn nhẹ và giữ độ kín cao.

Van được điều khiển đóng/mở hoàn toàn (ON/OFF) bằng tín hiệu từ PLC hoặc công tắc, không yêu cầu điều tiết lưu lượng, với thời gian đóng/mở dưới 10 giây và tần suất vận hành trung bình < 20 lần/ngày.

Đối với đường ống dẫn đi ra lăng cầm tay:

Vận tốc dòng chảy qua van ở lăng cầm tay 2,5 m/s, đường kính ống dẫn DN15, lưu lượng đi qua ống 20 l/ph, áp suất 12bar.

Đối với đường ống dẫn đi ra bộ chia tỷ lệ:

Vận tốc dòng chảy qua van ở lăng cầm tay 2,5 m/s, đường kính ống dẫn DN40, lưu lượng đi qua ống 180 l/ph, áp suất 12 bar.

7.9.3. Phân tích lựa chọn van ON/OFF

Van ON/OFF thực hiện chức năng đóng/mở hoàn toàn dòng chất lỏng. Trong trạng thái đóng, bi van quay chặn hoàn toàn dòng; khi nhận lệnh mở, bi xoay 90° để cho dòng chất lỏng chảy tự do.

Để phù hợp với môi trường chữa cháy, van cần có:

- Thân gang cầu hoặc inox để chịu áp cao.
- Bi van bằng inox 304, đảm bảo chống ăn mòn.
- Gioăng PTFE hoặc Viton, đảm bảo độ kín và độ bền nhiệt.

- Thời gian đóng/mở ≤ 10 giây.
- Cấp bảo vệ IP65 trở lên để chống nước, bụi.
- Tín hiệu điều khiển 24VDC hoặc 220VAC tùy theo nguồn của tủ PLC.

Sau khi phân tích đặc điểm dòng chảy, điều kiện vận hành, yêu cầu kỹ thuật cũng như khả năng tương thích với hệ thống điều khiển PLC, phương án được lựa chọn là sử dụng van bi điều khiển điện kiểu ON/OFF của thương hiệu AUT – Hàn Quốc, với kích thước DN15 và DN40 model KE010, phù hợp lắp đặt tại từng nhánh cấp cho lăng phun cầm tay.

Thông số kỹ thuật chính:

- Áp suất làm việc: PN16 (16 bar) – phù hợp với áp thực tế 12 bar.
- Vật liệu thân van: Gang cầu GGG40 phủ epoxy chống ăn mòn.
- Bi van: Inox 304 – chống gỉ, thích hợp cho bọt/nước.
- Gioăng làm kín: PTFE – chịu nhiệt, kháng hóa chất nhẹ.
- Nguồn điện điều khiển: 220VAC / 24VDC (tùy cấu hình).
- Loại tín hiệu điều khiển: ON/OFF (Digital), phản hồi trạng thái ON/OFF.
- Thời gian đóng/mở 6–10 giây.
- Cấp bảo vệ mô-tơ truyền động: IP65 – chống nước và bụi, phù hợp lắp ngoài trời.

7.10. Sơ đồ hệ thống điện^[32]

Nguyên lý hoạt động:

Nguồn cấp 24VDC được cung cấp từ máy phát riêng biệt cho toàn bộ hệ thống điều khiển, đảm bảo độc lập với hệ thống điện chính của xe. Việc khởi động hệ thống được thực hiện thông qua công tắc máy chính, cho phép cấp nguồn đến PLC, các cảm biến, mô-đun điều khiển van và HMI. Các điểm đấu nối nguồn được thực hiện tại chân 24V+ và 0V trên PLC.

Hai bộ cảm biến áp suất và lưu lượng được lắp đặt tại đầu ra của bơm bọt và bơm nước. Các cảm biến này đều có đồng hồ cơ tích hợp để giám sát trực quan tại hiện trường, đồng thời truyền tín hiệu về PLC thông qua các ngõ vào số (IN0, IN1). PLC sử dụng dữ liệu này để đưa ra quyết định điều khiển tương ứng như mở/đóng van, điều chỉnh van bướm theo tỷ lệ phù hợp với áp lực và lưu lượng thực tế.

PLC dòng Mitsubishi FX (hoặc tương đương) đóng vai trò là bộ điều khiển trung tâm, thực hiện xử lý tất cả tín hiệu đầu vào và xuất ra các tín hiệu điều khiển cho thiết bị chấp hành. PLC điều khiển:

Các van bi ON/OFF thông qua ngõ ra số Y0, Y1.

Van bướm điều khiển tuyến tính thông qua tín hiệu xung PULSE/DIR hoặc analog DA0.

HMI qua đường truyền TXD, RXD sử dụng giao thức nối tiếp RS-232 hoặc tương đương.

Các van bi được điều khiển bằng tín hiệu ON/OFF từ PLC. Khi hệ thống phát hiện tín hiệu “bơm đang hoạt động” hoặc nhận lệnh thủ công từ HMI, PLC lập tức xuất tín hiệu digital tại chân Y0 hoặc Y1 để cấp lệnh mở van. Ngược lại, khi bơm ngừng hoặc

không có lệnh thủ công, PLC đưa van về trạng thái đóng. Các van này đảm bảo dòng nước hoặc dung dịch bọt được cấp đến đúng vị trí theo yêu cầu.

Van bướm được điều khiển bằng motor servo, với bộ khuếch đại servo trung gian nhận tín hiệu điều khiển từ PLC thông qua hai tín hiệu PUL+ (xung) và DIR+ (hướng). Bộ điều khiển servo quay trục van tới vị trí mong muốn dựa theo tín hiệu đầu vào analog hoặc xung. Đồng thời, tín hiệu phản hồi từ encoder trong motor được sử dụng để cập nhật chính xác vị trí van về PLC, phục vụ cho vòng lặp điều khiển kín.

MI (màn hình điều khiển người – máy) kết nối với PLC thông qua các chân TXD, RXD và GND. Màn hình cho phép người vận hành:

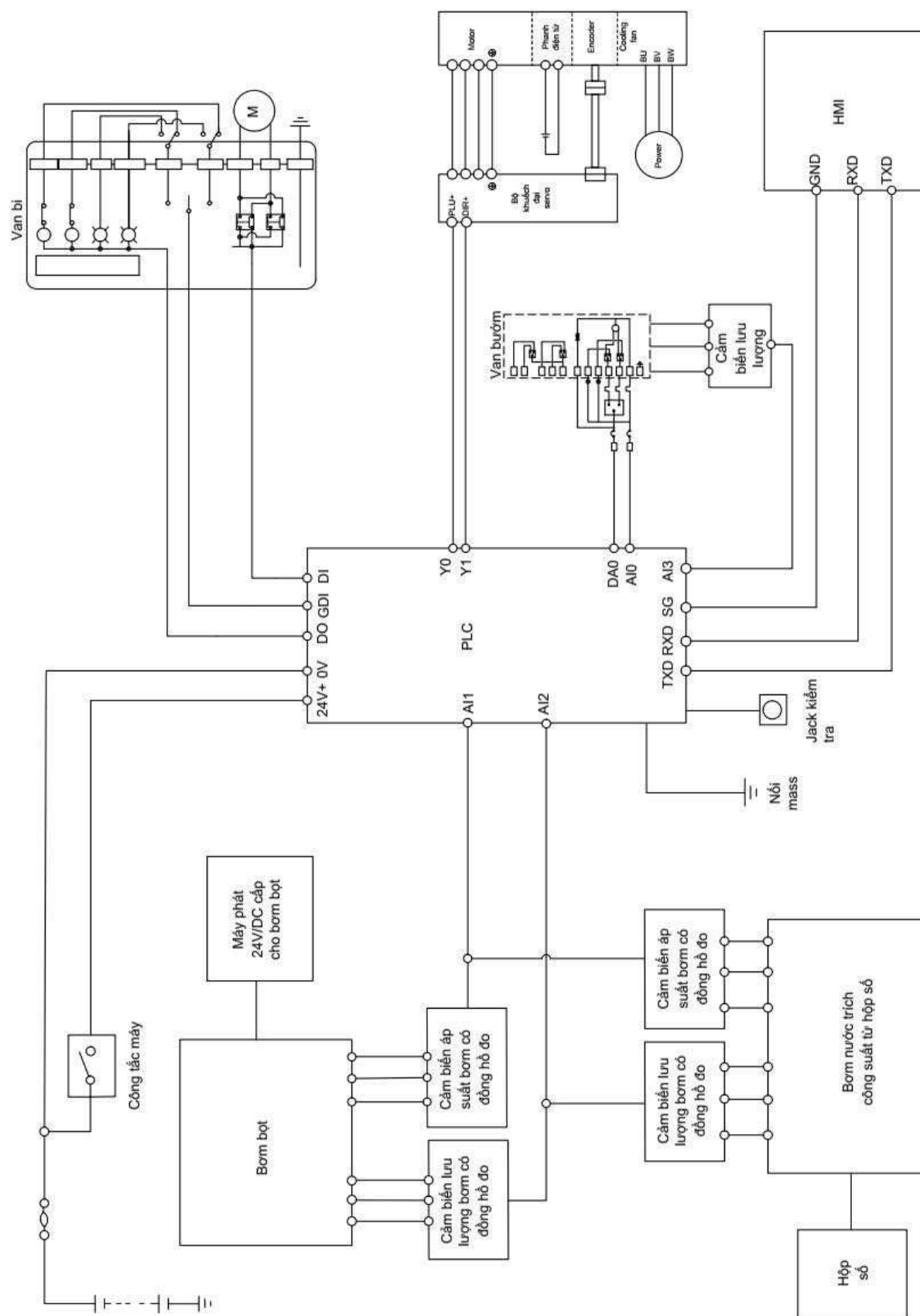
Cài đặt chế độ Auto hoặc Manual.

Nhập giá trị phân trăm mở van.

Theo dõi các thông số như áp suất, lưu lượng và trạng thái đóng/mở của từng van.

Giao diện trực quan giúp việc giám sát và điều khiển dễ dàng ngay cả trong môi trường khẩn cấp.

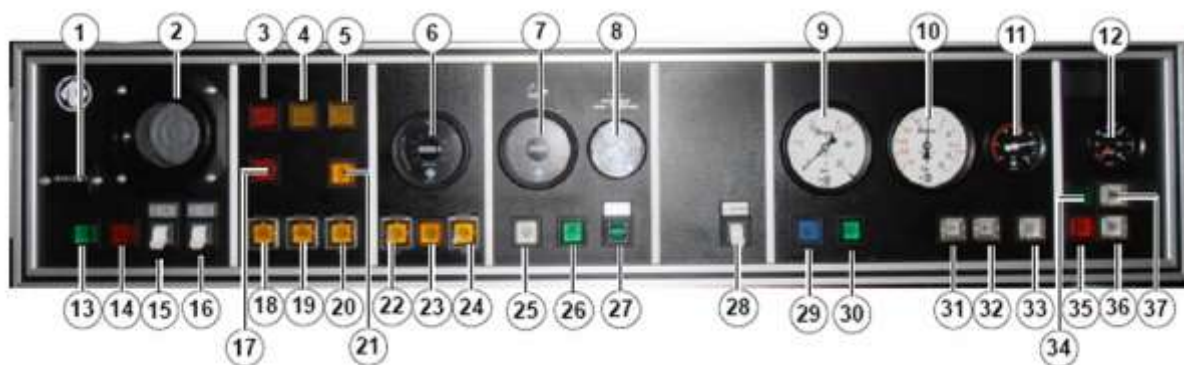
Bộ servo điều khiển van bướm và các van khác đều được nối với nguồn thông qua hệ thống bảo vệ điện, nối mass và jack kiểm tra. Việc nối mass trung tâm giúp triệt tiêu nhiễu, tăng độ ổn định tín hiệu. Jack kiểm tra phục vụ việc chẩn đoán và giám sát thông số tại hiện trường.



Hình 7.39. Sơ đồ hệ thống điều khiển điện.

Chương 8: HỆ THỐNG HỖ TRỢ

8.1. Hệ thống đèn kiểm soát



Hình 8.1. Bảng điều khiển và vận hành hệ thống chữa cháy.

Bảng điều khiển và vận hành hệ thống chữa cháy là bộ phận trung tâm giúp quản lý, giám sát và điều khiển toàn bộ hệ thống chữa cháy tự động hoặc bán tự động. Các chức năng chính bao gồm:

Bảng 8.1. Bảng hệ thống đèn kiểm soát và hình ảnh minh họa

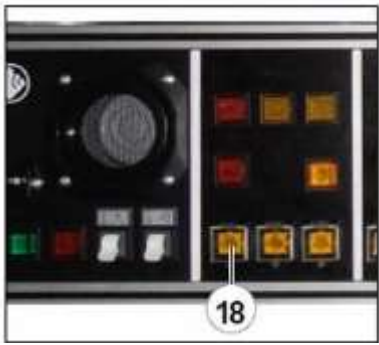
❖ Đèn kiểm soát nhiệt độ bọt trong bơm bọt Đèn kiểm soát (3) sáng khi nhiệt độ của bọt trong bơm bọt đạt tới 60°C. Hệ thống sẽ tự động mở van xả nhiệt của bơm bọt tới xi-téc chứa bọt TROKOMAT.	
❖ Đèn kiểm soát hút bọt bên ngoài Đèn kiểm soát (4) sáng khi van ở đường hút bọt bên ngoài mở.	
❖ Đèn kiểm soát xi-téc chứa bọt TROKOMAT đầy Đèn kiểm soát (5) sáng khi xi-téc chứa bọt TROKOMAT đầy. Cần xả hết xi-téc chứa bọt TROKOMAT bằng cách mở van đường xả của xi-téc chứa bọt TROKOMAT tại G5.	

❖ Đèn kiểm soát lăng phun đuôi ra Đèn kiểm soát (14) sáng khi lăng phun nước/bột không ở vị trí xếp lại. Trong khi giao thông bình thường trên đường bộ, lăng phun nước/bột phải ở vị trí xếp gọn. Đèn kiểm soát không được sáng trong lúc vận hành lái xe.	
❖ Đèn kiểm soát nhiệt độ dầu thủy lực Đèn kiểm soát (17) sáng khi nhiệt độ của dầu thủy lực trong bơm bột đạt tới 60°C. Hệ thống sẽ tự động giảm tốc độ của bơm bột. Nếu trong 2 phút nhiệt độ không hạ xuống thì hệ thống sẽ tự động tắt bơm bột.	
❖ Đèn kiểm soát hệ truyền động ở số 0 Đèn kiểm soát (34) sáng khi bộ chọn truyền động tự động đặt về số 0 “N”. Bơm chữa cháy chỉ có thể bật khi đèn kiểm soát sáng.	

8.2. Hệ thống công tắc và nút bấm

Bảng 8.2. Bảng hệ thống công tắc, nút bấm và hình ảnh minh họa

❖ Nút bấm đóng/mở nước của lăng phun Khi ấn nút bấm đóng/mở nước của lăng phun (13). Van trên đường tới lăng phun mở. Đèn nút bấm sáng.	
---	--

❖ Nút bấm BẬT/TẮT bọt bên trái Khi ấn nút bấm (18). Van ngắt trên đường bọt tới các đường phun ra ở bên trái của xe đóng hoặc mở. Đường bọt có đầy chất bọt. Cặn bọt sẽ gây ra bắn đường ống. Sau chế độ dùng bọt, hãy nhớ rửa sạch tất cả các đường ống bọt.	
❖ Nút bấm ĐÓNG/MỞ bơm nạp xi- tec chứa bọt qua bơm Ấn nút bấm (21). Cơ cấu ngắt trong đường bơm nạp giữa bơm bọt và xi-téc chứa bọt mở.	
❖ Nút bấm BẬT/TẮT bơm bọt Ấn nút bấm (22). Bơm bọt được bật lên bằng mạch điện dẫn động phụ trợ tự động.	
❖ Nút bấm phun rửa Ấn nút bấm “ĐÓNG/MỞ phun rửa” (23). Nút bấm (23) nhấp nháy sau khi bắt đầu sử dụng bọt, chỉ thị cho thấy rằng cần được phun rửa. Chỉ có thể thực hiện phun rửa được khi sử dụng áp suất tối đa là 4 bar.	

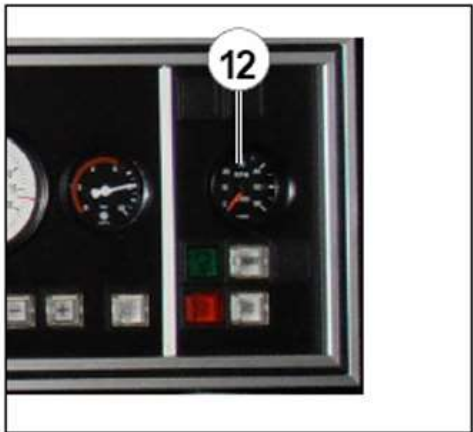
❖ Nút bấm BẬT/TẮT xi tec chứa bọt Ấn nút bấm (24). Van ngắt tại xi-téc chứa bọt mở. Đường bọt có đầy chất bọt. Cặn bọt gây ra bẩn đường ống. Sau chế độ dùng bọt, hãy rửa sạch tất cả các đường ống bọt.	
❖ Nút bấm thoát nước trung tâm Ấn nút bấm (25). Tắt cả các van thoát nước điều khiển từ xa mở Chỉ hoạt động khi bơm chữa cháy ly tâm không kích hoạt.	
❖ Công tắc BẬT/TẮT điều chỉnh mức Vận hành công tắc “BẬT/TẮT điều chỉnh mức” (27). Hệ thống điều chỉnh mức xi-téc chứa nước bật/tắt. Khi mức nước tụt xuống khoảng 75%, van trong đường nạp từ trụ lấy nước mở và xi-téc nước được nạp đầy trong trường hợp kết nối với trụ lấy nước. Khi mức nước đạt khoảng 95%, van trong đường bơm nạp từ trụ lấy nước ngắt, bằng cách đó tránh được sự rò rỉ nước. Theo cách này, người vận hành không cần phải kiểm tra mức nước; luôn luôn có đủ nước sử dụng. Nếu bộ điều chỉnh mức bị tắt, van bơm nạp từ trụ lấy nước luôn luôn mở.	

❖ Nút bấm BẬT/TẮT đường hút xi-téc chứa nước Ấn nút bấm (11). Van trên xi-téc chứa nước mở. Bơm chữa cháy bật Thiết bị chữa cháy lúc này đã sẵn sàng sử dụng. Bằng cách ấn nút bấm (11) một lần nữa, tắt cả chức năng tắt và đặt trở lại vị trí nghỉ. Để tránh áp suất tăng lên van xi-téc chứa nước chỉ có thể mở được khi bơm cũng không bật. Van bướm tự động đóng khi bơm tắt.	
❖ Nút bấm BẬT/TẮT bơm chữa cháy ly tâm Ấn nút bấm (33). Bơm chữa cháy được bật lên bằng mạch điện dẫn động phụ trợ tự động. Chỉ có thể tăng tốc sau khi nút bấm có đèn sáng. Ấn nút bấm (33) lần nữa. Bơm chữa cháy tắt bằng mạch điện dẫn động phụ trợ tự động.	
❖ Công tắc tổng hệ thống chữa cháy Ấn nút bấm (35). Nguồn điện cho bảng điều khiển và vận hành hệ thống chữa cháy bật.	
❖ Nút bấm KHỞI ĐỘNG / DỪNG động cơ Bật công tắc khóa điện của xe. Ấn nút bấm (37). Nếu truyền động phụ trợ không kích hoạt, lúc đó động cơ xe sẽ khởi động. Ấn nút bấm (36). Động cơ xe tắt.	

8.3. Hệ thống đồng hồ chỉ thị

Bảng 8.3. Bảng đồng hồ chỉ thị và hình ảnh minh họa

❖ Đồng hồ đo số giờ hoạt động của bơm chữa cháy ly tâm Đồng hồ đo số giờ hoạt động (1) chỉ số giờ hoạt động của bơm chữa cháy ly tâm. Hãy quan sát số giờ hoạt động để có khoảng thời gian bảo dưỡng thiết bị chữa cháy.	
❖ Đồng hồ chỉ lượng chứa của xi tec chứa chất bọt Đồng hồ hiển thị (6) cho biết lượng chứa hiện tại của xi-téc chứa chất bọt.	
❖ Đồng hồ chỉ lượng chứa của xi tec chứa nước Đồng hồ hiển thị (7) cho biết lượng chứa hiện tại của xi-téc chứa nước.	
❖ Đồng hồ đo quá áp của đường bơm vào xi tec chứa Áp kế (8) chỉ áp suất bơm nạp trong đường bơm vào xi-téc chứa nước. Không được vượt quá áp lực bơm nạp tối đa 4 bar. Áp lực vượt quá có thể làm hỏng xi-téc nước.	

❖ Đồng hồ đo quá áp/thiếu áp của áp lực đường vào bơm bên hút Trong quá trình vận hành hút, đồng hồ (10) hiển thị sự thiếu áp ở bên hút của bơm. Trong trường hợp cấp từ bên ngoài, ví dụ qua một trụ lấy nước, thì áp lực đường vào được hiển thị.	
❖ Đồng hồ đo tốc độ bơm chữa cháy ly tâm Đồng hồ (12) chỉ tốc độ hiện tại của bơm chữa cháy ly tâm.	

8.4. Lưu ý

Các nút bấm của bảng điều khiển đều có đèn sáng. Khi đèn chiếu có ánh sáng mờ thì khi đó chức năng đã tắt. Khi có ánh sáng mạnh thì chức năng đã được kích hoạt.

Các hoạt động khác chỉ có thể thực hiện được trên hệ thống bơm trong trường hợp các hoạt động cụ thể nếu các nút bấm sáng mạnh. Ví dụ: Ấn nút bấm “BẬT/TẮT bơm chữa cháy”, Chỉ bấm nút “REVOLUTIONS +” sau khi nút “BẬT/TẮT bơm chữa cháy” sáng mạnh.

Trong trường hợp một số lỗi của thiết bị chuyên dụng được hiển thị bằng nút bấm hoặc các đèn kiểm soát nhấp nháy nhanh (ví dụ áp suất vận hành của hệ thống khí nén không đủ).

Chương 9: BẢO TRÌ VÀ BẢO DƯỠNG HỆ THỐNG TRÊN Ô TÔ CHỮA CHÁY

9.1. Yêu cầu về an toàn khi bảo trì và bảo dưỡng

9.1.1. Thông tin chung

Trước khi loại bỏ các lỗi ở xe chữa cháy của các bạn hoặc sửa chữa xe. Điều quan trọng là hãy đọc các bước do nhà sản xuất qui định trong hướng dẫn sử dụng. Các lỗi đơn giản có thể được loại bỏ bởi các nhân viên lành nghề, đã được đào tạo theo các hướng dẫn sử dụng, đồng thời tuân thủ theo các qui định về an toàn và phòng ngừa tai nạn. Trước khi tìm kiếm nguyên nhân của lỗi hãy:

Tắt động cơ và rút chìa khóa khởi động ra.

Giữ an toàn cho xe không bị trôi bao gồm việc kéo phanh đỗ và đặt chèn bánh xe.

Nếu như cần phải tháo các thiết bị an toàn và bảo vệ ra để tìm lỗi, chúng phải được đặt lại ngay sau khi làm việc và kiểm tra xem chúng có hoạt động đúng chức năng không. Xe chữa cháy không được đưa vào hoạt động trước khi tất cả các thiết bị an toàn và bảo vệ đã được đặt lại vào vị trí.

9.1.2. Các biện pháp an toàn

a. Qui định về người vận hành

Tất cả những người vận hành, sửa chữa và bảo dưỡng xe và các thiết bị đều phải đọc và hiểu rõ:

- Các hướng dẫn sử dụng của nhà sản xuất riêng.
- Các qui định về an toàn.
- Các hướng dẫn an toàn có trong các chương và phần riêng.

Những người bảo dưỡng, kiểm tra và lắp ráp phải có trình độ chuyên môn cần thiết để thực hiện các công việc này. Phạm vi trách nhiệm và giám sát của các nhân viên phải được người sử dụng xác định một cách chính xác.

Nếu nhân viên không có kiến thức cần thiết thì người sử dụng có trách nhiệm đào tạo và hướng dẫn. Xe và thiết bị chỉ nên được bảo dưỡng sửa chữa bởi những người đã được đào tạo sửa chữa thiết bị hoặc đã được đào tạo tương đương.

b. Các qui định cần tuân thủ

Ngoài các ghi chú có trong tài liệu hướng dẫn sử dụng này, các qui định sau cũng phải được tuân thủ theo:

- Các qui định về an toàn và đề phòng tai nạn chung của Nhà bảo hiểm tai nạn.
- Các qui định đã được công nhận chung liên quan đến y học công nghiệp.
- Các quy định bảo vệ người làm việc.
- Các chỉ thị và qui định kỹ thuật đã được công nhận chung (ví dụ như các tiêu chuẩn)

- Các quy định về đề phòng tai nạn không phải là các khuyến cáo, chúng là do luật pháp qui định. Các qui định này áp dụng cho tất cả các thành viên trong ngành chữa cháy.

9.2. Bảo trì và bảo dưỡng

9.2.1. Công việc trước khi bảo dưỡng

Nếu các thiết bị bảo vệ và an toàn phải tháo ra khi thực hiện công tác bảo dưỡng sửa chữa thì chúng phải được đặt lại vị trí ngay sau khi hoàn thành công việc và kiểm tra xem chúng có làm việc hoàn toàn không.

9.2.2. Bảo dưỡng chassis và xi-téc

Thực hiện công việc sửa chữa và bảo dưỡng tại chassis theo các hướng dẫn có trong tài liệu hướng dẫn sử dụng do nhà sản xuất chassis cung cấp. Luôn luôn tuân thủ theo các hướng dẫn về an toàn của nhà sản xuất chassis.

❖ Xi-téc chứa nước

Cần bảo dưỡng theo định kỳ (tùy theo tần suất sử dụng) các hạng mục sau:

- Mức nước.
- Tình trạng vỏ tec: không rò rỉ, nứt, lún.
- Đường dẫn, van, khớp nối.
- Vệ sinh định kỳ: xả nước, làm sạch bên trong bồn.
- Thử chức năng: đảm bảo hệ thống nạp và xả hoạt động bình thường.

❖ Xi-téc chứa bọt

Cần bảo dưỡng tương tự xi-téc nước các hạng mục sau đây:

- Dung tích chất bọt.
- Đường tràn, khớp nối, van điều tiết.
- Vệ sinh bồn chứa và đường ống cấp bọt.
- Thử chức năng: đảm bảo hệ thống bọt hoạt động hiệu quả.

Khi thực hiện công tác bảo dưỡng trên cao, sử dụng các trang bị được cung cấp hoặc các bậc và sàn theo các qui định về an toàn Không được sử dụng các ngăn kéo và các đồ gá làm bậc thang.

9.2.3. Bảo trì và bảo dưỡng bơm

Kiểm tra sự hoạt động của hệ thống bơm nước, cụ thể: Kiểm tra sự vận hành, hoạt động, độ kín của van nước, van bọt, van khí, các đồng hồ, đèn báo; kiểm tra, bổ sung mỡ làm kín và bôi trơn trục bơm, các cơ cấu trục xoay; kiểm tra hoạt động của trục các-đăng truyền lực cho bơm, nếu thấy có tiếng kêu lạ phải kiểm tra, sửa chữa ngay.

Kiểm tra độ kín của bơm chữa cháy bằng cách đóng kín tất cả các van của bơm, nắp đầy họng hút, thực hiện động tác hút chân không cho bơm đạt độ chân không tối đa (tùy theo loại xe mà cách thao tác hút chân không có 9 khác nhau), thời gian hút chân không không quá 30 giây. Ngừng hút chân không, xác định độ kín của bơm bằng cách quan sát đồng hồ chân không, nếu trong 2 phút kim đồng hồ trả về không quá 1 vạch (tương ứng với 0,1 bar) là bơm đảm bảo độ kín; nếu kim trả về nhanh hơn là bơm bị hở, phải tìm nguyên nhân để khắc phục.

Kiểm tra khả năng làm việc của bơm chân không môi nước bằng cách khi bơm ly tâm kín, làm động tác hút chân không, trị số chân không phải đạt ít nhất - 0,6 bar (6/10 vạch chỉ số trên bảng đồng hồ hạ áp), nếu thấp hơn phải bảo dưỡng, sửa chữa bơm chân không.

Kiểm tra khả năng làm việc của trục bơm và cánh quạt li tâm bằng cách cho bơm li tâm quay ở tốc độ thấp và trung bình (tuyệt đối không được quay với tốc độ cao và tăng ga một cách đột ngột vì máy bơm không hút nước); kiểm tra ốc, bu lông bắt liền máy bơm với khung xe; kiểm tra các van phun nước, phun bọt hoà không khí, van đóng, mở nước ở két nước, đồng hồ cao áp, hạ áp, đồng hồ vòng phút bảo đảm tốt và đúng tiêu chuẩn.

Vòi hút phải kín, không bị cong gập, thủng, có đủ đệm lót, các đầu nối khi lắp vào được nhẹ nhàng, kín.

Kiểm tra các phương tiện, dụng cụ chữa cháy trang bị theo xe, máy bơm như lăng, vòi, ba chạc, thang... bảo đảm đủ cơ số và chất lượng kỹ thuật.

KẾT LUẬN

❖ Kết luận chung

Đề tài “Thiết kế hệ thống chữa cháy bằng nước/bọt dựa trên xe cơ sở Mercedes-Benz Actros 3358-6x4” đã hoàn thành các mục tiêu đặt ra, bao gồm việc nghiên cứu, tính toán và đề xuất giải pháp thiết kế một hệ thống chữa cháy hiệu quả, phù hợp để lắp đặt trên nền tảng chassis xe cơ sở. Thông qua quá trình khảo sát, phân tích, lựa chọn thiết bị và bố trí tổng thể, hệ thống đã được thiết kế đảm bảo các yêu cầu cơ bản về chức năng, tính cơ động, vận hành và bảo dưỡng thực tế.

❖ Kết quả đạt được

Đề xuất được phương án và tính toán thiết kế được hệ thống chữa cháy đầy đủ bao gồm: xi-téc nước, xi-téc bọt cô đặc bơm ly tâm chữa cháy, bơm bọt, hệ thống đường ống, vòi phun và cụm điều khiển. Các thông số thiết kế cần thiết cho việc lắp đặt và vận hành được tổng hợp dưới đây:

a) Xi-téc

Xi-téc chứa nước:

- Dung tích: 2500 lít.
- Kích thước: 1000x2500x1250 mm.
- Đường kính cửa kiểm tra: 500 mm.
- Đường kính đường ống hút nước vào bơm ly tâm: 250 mm.
- Đường kính ống nạp/xả nước: 2,5 inches.
- Độ bền nén: 10,32 MPa.
- Đảm bảo đủ điều kiện bền để chứa 2500 lít nước trong các điều kiện vận hành khác nhau của ô tô: đi thẳng, phanh, chuyển hướng.

Xi-téc chứa bọt:

- Dung tích: 6500 lít
- Kích thước: 2600x2500x1250 mm.
- Đường kính cửa kiểm tra: 500 mm.
- Đường kính đường ống hút nước vào bơm ly tâm: 80 mm.
- Đường kính ống nạp/xả nước: 2,5 inches.
- Độ bền nén: 10,42 MPa.
- Đảm bảo đủ điều kiện bền để chứa 6500 lít bọt cô đặc trong các điều kiện vận hành khác nhau của ô tô: đi thẳng, phanh, chuyển hướng.

Độ ổn định của cụm xi-téc khi lắp đặt lên chassis

Lắp đặt cụm xi-téc lên dầm ngang của chassis bằng bu lông M14, các thông số lực tính được:

- Lực ma sát: 15500 kg.
- Lực quán tính: 6778,8 kg.
- Lực quay vòng: 8835,3 kg.

Ta thấy lực ma sát lớn hơn lực quán tính nên cụm xi-téc sẽ không bị trượt theo chiều dọc của chassis, và lực ma sát lớn hơn lực quay vòng nên cụm xi-téc sẽ không bị trượt theo chiều ngang của chassis. Điều đó đảm bảo điều kiện xi-téc được cố định trên chassis khi ô tô vận hành.

b) Bơm chữa cháy

Bơm nước:

Bơm ly tâm một cấp, loại hút đơn (một cửa hút). Để đảm bảo khả năng mỗi bơm nhanh chóng và ổn định, hệ thống được trang bị hai hệ thống bơm mỗi piston TROKOMAT PLUS. Bơm ly tâm được lắp đặt phía sau cabin, nhằm tối ưu hóa việc truyền công suất từ hộp trích công suất (PTO) được bố trí phía trên nắp hộp số.

Thông số kỹ thuật chung:

- Lưu lượng bơm: 10000 l/ph.
- Áp suất danh định: 10 bar.
- Độ cao hút: 1,5 m.
- Số vòng quay tối đa: 2500 v/ph.
- Mô-men xoắn cực đại: 1220 Nm.
- Công suất đầu vào lớn nhất: 330 kW.

Cánh bơm ly tâm:

- Số cánh: 9
- Chiều rộng bánh công tác lõi vào: 41 mm.
- Chiều rộng bánh công tác lõi ra: 28 mm.
- Đường kính bánh công tác: 345 mm.
- Đường kính trục bơm: 65 mm.

Buồng xoắn:

- Đường kính vào buồng xoắn: 360 mm.
- Chiều dài ống loe: 504 mm.
- Chiều rộng buồng xoắn: 42 mm.
- Đường kính lõi ra của ống loe: 190 mm.

Bơm bọt:

Bơm bánh răng ăn khớp trong, được dẫn động bởi máy phát điện độc lập và lắp đặt phía sau xitec nhằm tối ưu hóa không gian và thuận tiện cho quá trình vận hành.

Thông số kỹ thuật:

- Lưu lượng bơm: 300 l/ph.
- Số vòng quay: 780 v/ph.
- Áp suất làm việc tối đa: 10 bar.
- Công suất đầu vào lớn nhất: 7,5 kW.

Bánh răng bị động:

- Modul: 4,5 mm.
- Số răng: 13.

- Đường kính răng: 72 mm.
- Đường kính chân răng: 56 mm.
- Chiều dày bánh răng: 30 mm.
- Độ cứng: 52-58 HRC.

Bánh răng chủ động:

- Modun: 4,5 mm.
- Số răng: 14.
- Đường kính răng: 80 mm.
- Đường kính chân răng: 72 mm.
- Chiều dày bánh răng: 40 mm.
- Độ cứng: 52-58 HRC.

c) Hệ thống đường ống, lăng phun

- Hiệu suất phun tối ưu của lăng giá cố định theo mục tiêu ban đầu (lưu lượng đến 6000 l/phút, tầm xa > 80 m). Với khả năng xoay ngang 330°, xoay dọc +70°/-20°.
- Cụm lăng giá cố định được điều khiển bằng motor kết hợp bộ truyền trực vít – bánh vít tự hãm, cho phép điều chỉnh góc xoay chính xác, tin cậy.
- 6 lăng phun cầm tay được lựa chọn tối ưu hóa lưu lượng 666,67 l/ph, độ linh hoạt và khả năng tương thích foam AFFF 3%.
- Áp suất và lưu lượng được phân phối đều nhờ cấu trúc ống hợp lý và tổn thất thấp.
- Hệ thống chia tỷ lệ foam 3% được thiết kế rõ ràng, lựa chọn và tính toán cụ thể lượng bơm foam, áp suất và tiết diện van.
- Mô phỏng thủy lực trên Automation Studio đã xác nhận có tính khả thi trong vận hành thực tế, phù hợp với điều kiện áp lực làm việc 10 bar và lưu lượng 10000 l/ph.

d) Hệ thống điều khiển

Thiết kế và mô phỏng điều khiển van bướm điều chỉnh lưu lượng:

Van bướm Honeywell V4ABFW16-080-112 được lập trình vận hành tự động thông qua phần mềm GX Works2. PLC điều khiển tín hiệu analog 0–10V để mở van theo ba góc đặc trưng: 60%, 70% và 90%, tương ứng với các mức lưu lượng đầu ra khác nhau.

Thiết kế hệ thống điều khiển servo motor định hướng lăng phun:

Hệ thống sử dụng motor servo kết hợp encoder để điều khiển chính xác góc phun của lăng, đảm bảo định hướng chính xác dòng chữa cháy theo yêu cầu. PLC FX điều khiển motor bằng tín hiệu PULSE/DIR. Điều khiển được hiển thị trực quan trên màn hình HMI GT Designer 3, cho phép người vận hành giám sát và điều chỉnh dễ dàng.

Tính toán và lựa chọn thiết bị van đường ống theo tiêu chuẩn Việt Nam:

Van bướm nạp DN250 được tính toán và chọn theo tiêu chuẩn TCVN 3734:1982, bảo đảm lưu lượng hút đầu vào ổn định, chống xâm thực khi bơm hoạt động.

Van bi xả tràn ARV-800FE DN65 cho xitec được lựa chọn với thời gian xả hợp lý, vật liệu phù hợp với môi trường nước và dung dịch bọt.

Van bi điều khiển ON/OFF tại các nhánh lăng phun và bộ chia tỷ lệ được tính toán lưu lượng, áp suất và điều kiện điều khiển điện 24VDC/220VAC, đảm bảo khả năng đóng mở nhanh, kín và an toàn, đồng thời tuân theo tiêu chuẩn kỹ thuật quốc gia hiện hành.

Thiết kế sơ đồ hệ thống điều khiển điện hoàn chỉnh:

Sơ đồ điện điều khiển đã được thiết kế hợp lý, tối ưu hóa vị trí đấu nối giữa PLC với các thiết bị như cảm biến lưu lượng, cảm biến áp suất, servo motor, van ON/OFF, bơm và HMI. Cấu trúc sơ đồ đảm bảo tính dễ vận hành, dễ lắp đặt và bảo trì, đồng thời hỗ trợ giao tiếp hai chiều giữa người dùng và hệ thống thông qua giao diện thân thiện.

e) Hoàn thiện lắp đặt hệ thống trên ô tô chữa cháy

Các mục tính toán thiết kế trong phần a, b, c, d được hoàn thành để tạo nên bản vẽ lắp đặt chi tiết trên xe cơ sở, đảm bảo phân bố hợp lý tải trọng, tối ưu không gian và thuận tiện trong bảo trì, sử dụng.

Đặc tính kỹ thuật của ô tô chữa cháy sau khi lắp đặt hệ thống chữa cháy:

Truyền động: 6x4

Kích thước:

- Tổng thể: 9200x2500x3600 mm.
- Chiều dài cơ sở: 4500 + 1450 mm.
- Chiều dài đuôi xe: 1000 mm.
- Chiều rộng khoang chữa cháy: 2500 mm.

Tải trọng:

- Đầy tải: 33000kg.
- Phân bố tải trọng: 7000/13000x2 kg.

Tính năng chuyển động:

- Tốc độ cực đại: 109 km/h.
- Độ vượt dốc: 36%.
- Thời gian tăng tốc từ lúc bắt đầu khởi hành đến 200 m đầu tiên: 23s.
- Bán kính quay vòng: 8,5 m.

❖ Định hướng đề tài

Đề tài góp phần vào việc nâng cao năng lực thiết kế các phương tiện PCCC trong nước, hướng đến việc chủ động sản xuất, tiết kiệm chi phí và tăng khả năng đáp ứng trong các tình huống khẩn cấp. Mặc dù còn một số hạn chế do phạm vi thực hiện chủ yếu dừng ở mức thiết kế kỹ thuật, song kết quả của đề tài là cơ sở quan trọng cho các nghiên cứu tiếp theo như chế tạo thử nghiệm, đánh giá thực tế và phát triển hệ thống chữa cháy chuyên dụng theo hướng hiện đại hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Lý thuyết ô tô máy kéo_GS.TSKH Nguyễn Hữu Cẩn_Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật Hà Nội_2005
- [2] Nguyễn Hoàng Việt_Kết cấu tính toán và thiết kế ô tô_Đại học Đà Nẵng_1998.
- [3] Nguyễn Đình Đức, Đào Như Mai_Sức bền vật liệu và kết cấu_Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật Hà Nội_2011.
- [4] QCVN 09:2015/BGTVT.
- [5] TCVN 13316-1:2022_PCCC - XE Ô TÔ CHỮA CHÁY - PHẦN 1: YÊU CẦU CHUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP THỬ.
- [6] TCVN 13316-2:2022_PCCC - XE Ô TÔ CHỮA CHÁY - PHẦN 2: XE CHỮA CHÁY CÓ XI TẾC.
- [7] TCVN 13316-3:2022_PCCC - XE Ô TÔ CHỮA CHÁY - PHẦN 3: XE CHỮA CHÁY HOÁ CHẤT BỌT.
- [8] FRP Rebar Data Sheet.
- [9] Torque Tension Chart for Metric Fasteners_F.E.D.S._2009.
- [10] Formglas-FRP-Product-Data-Sheet-V18.1+.
- [11] Giáo trình máy bơm và trạm bơm_GS. Nguyễn Văn Hiệu_Nhà xuất bản Hà Nội_2007.
- [12] Máy thủy khí cánh dẫn bơm ly tâm và bơm hướng trục_PGS.TS. Hoàng Thị Bích Ngọc_Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật Hà Nội.
- [13] Sổ tay máy bơm_Ths Lê Dung_Nhà xuất bản xây dựng Hà Nội_2006.
- [14] Catalog FPN 10-10000-1H Centrifugal fire pump.
- [15] TCVN 4513:1988 – Cấp nước bên trong – Tiêu chuẩn thiết kế.
- [16] TCVN 2622:1995 – Phòng cháy, chống cháy cho nhà và công trình – Yêu cầu thiết kế.
- [17] TCVN 6156:1996 – Van công nghiệp – Thử kín, thử bền.
- [18] TCVN 5684:2003 – Hệ thống chữa cháy – Trang bị hệ thống ống, máy bơm, van và thiết bị đầu cuối.
- [19] Mitsubishi FX Series PLC Programming Manual.
- [20] Mitsubishi FX Analog Control User's Manual.
- [21] GOT2000 Series HMI Connection Manual.
- [22] Industrial Automation Handbook – Siemens / Mitsubishi / Omron.
- [23] Catalog van điều khiển điện AUT (AUT Korea).
- [24] Catalog thiết bị PCCC – Công ty Phúc Thành.
- [25] Catalog thiết bị van Haitima – Đài Loan.
- [26] Sổ tay Cơ học chất lỏng – Nguyễn Tấn Hòa, ĐH Bách Khoa TP.HCM.
- [27] NFPA Handbook for Fire Protection Engineering.
- [28] Fire Engineering Reference Manual.
- [29] Pipe Dimension Standards – ISO / ASME / DIN.
- [30] Cấu tạo cụm điều khiển MAZ-4000 (tài liệu kỹ thuật OEM).
- [31] Mô hình điều khiển điện trong công nghiệp – NXB KH&KT.
- [32] IEC 60617 – Ký hiệu điện công nghiệp.
- [33] ISO 1219 – Ký hiệu hệ thống thủy lực và khí nén.
- [34] TCVN 13316-1:2021.

- [35] GB 19156-2019 – Fire monitor: General technical requirements. China National Standard.
- [36] National Fire Protection Association (NFPA). NFPA 1901: Standard for Automotive Fire Apparatus. NFPA, 2016 Edition.
- [37] National Fire Protection Association (NFPA). NFPA 11: Standard for Low-, Medium-, and High-Expansion Foam. NFPA, 2016 Edition.
- [38] National Fire Protection Association (NFPA). NFPA 13: Standard for the Installation of Sprinkler Systems. NFPA, 2019 Edition.
- [39] International Organization for Standardization (ISO). ISO 14520: Gaseous fire-extinguishing systems – Physical properties and system design. ISO, 2015.
- [40] TCVN 3890-1984 – Phương tiện PCCC - Yêu cầu bố trí, trang bị, kiểm tra, bảo dưỡng. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [41] ASTM International. Barlow's Formula for pipe strength calculation. ASTM Manual Series, 2010.
- [42] Oregon State Fire Marshal. Fire Apparatus Equipment and Piping Regulations. Based on NFPA 1901.
- [43] TCVN 7336:2003 – Hệ thống chữa cháy bằng bọt - Yêu cầu thiết kế và lắp đặt. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [44] JIS G4303 – Stainless Steel Bars. Japanese Industrial Standards. (Đặc điểm inox SUS304).
- [45] Hazen-Williams Equation. Hydraulic Engineering Standard Method. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 70.
- [46] GB/T 1047-2019 – Nominal sizes for pipe systems – Definition and selection. China National Standard.
- [47] TCVN 7335:2003 – Lăng phun chữa cháy – Yêu cầu kỹ thuật và thử nghiệm. Bộ Công an, Việt Nam.
- [48] TCVN 5739:1993 – Lăng phun cầm tay dùng cho chữa cháy – Phân loại, yêu cầu kỹ thuật và phương pháp thử. Bộ Công an, Việt Nam.
- [49] TCVN 6160:1996 – Hệ thống chữa cháy cố định – Tính toán thiết kế mạng đường ống nước chữa cháy. Bộ Xây dựng, Việt Nam.
- [50] ISO 6182 – Fire protection — Automatic sprinkler systems. International Organization for Standardization.
- [51] Mott, R. L. (2006). Applied Fluid Mechanics, 6th Edition. Pearson Education.
- [52] Khóa học cơ bản về GX Works2-Mitsubishi Electric.
- [53] SỔ TAY LẬP TRÌNH - Tài Liệu Hướng Dẫn & Ứng Dụng, BỘ ĐIỀU KHIỂN LẬP TRÌNH FX3U/FX3UC.
- [54] Giáo trình học PLC Mitsubishi của trường Đại Học Công Nghiệp Hồ Chí Minh.
- [55] .GX Works2 Version 1 Operating Manual.
- [56] Tài liệu hướng dẫn vận hành Xe chữa cháy bằng bọt SLF 100/25 - 65.
- [57] Phân loại bọt chữa cháy (AFFF: Aqueous Film Forming Foam) Công ty TNHH Kỹ thuật Vĩnh Mai_Tp. Hồ Chí Minh_2024.
- [58] The new Actros 6x4 Prime Mover - M-Cab ClassicSpace 3353, 3358, 3363_Mercedes-Benz.
- [59] 6x4 Road Train and Heavy Duty Prime Mover_Mercedes-Benz.
- [60] Vikings Pump 123C Catalogue.