

THIẾT KẾ HỆ THỐNG THỦY LỰC NÂNG HẠ CỦA XE NÂNG HÀNG TẢI TRỌNG NHỎ

DESIGN OF THE HYDRAULIC LIFTING SYSTEM FOR A LIGHT-DUTY FORKLIFT

TS. Đào Mạnh Quyền*, ThS. Đỗ Hữu Tuấn, ThS. Phùng Công Dũng

Viện Cơ khí Động lực, Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải

*Email liên hệ: quyendm@utt.edu.vn

TÓM TẮT

Xe nâng tải trọng nhỏ sử dụng nguồn dẫn động điện thường được sử dụng để nâng hạ và di chuyển hàng nâng trong nhà xưởng, phòng thực hành. Trong quá trình làm việc, hệ thống thủy lực dẫn động nâng hạ chịu tải trọng áp suất do hàng nâng gây ra. Việc tính toán hệ thống thủy lực này cần phải được nghiên cứu để đảm bảo tính chính xác và kinh tế. Trong bài báo này, phần mềm AMESIM được sử dụng để tính toán, mô phỏng hệ thống thủy lực cần thiết kế. Kết quả mô phỏng từ phần mềm cho thấy có thể tiết kiệm được xấp xỉ 13% năng lượng tiêu thụ của mô tơ điện.

Từ khóa: *Xe nâng điện; Thiết kế xe nâng điện; Thiết kế hệ thống thủy lực; Thu hồi năng lượng; Tiết kiệm năng lượng.*

ABSTRACT

Light-duty forklifts are devices employed for lifting, lowering, and transporting components within confined environments such as workshops and training facilities. During operation, the hydraulic lifting system is subjected to pressure loads induced by the weight of objects. Accurate and economical design of this system necessitates thorough analysis. In this study, the AMESIM software is utilized to model and simulate the hydraulic system under design. The simulation results indicate a potential reduction of approximately 13% in electric motor energy consumption, demonstrating the system's improved efficiency.

Keywords: *Electric forklift; Electric forklift design; Hydraulic system design; Energy recovery; Energy saving.*

1. GIỚI THIỆU

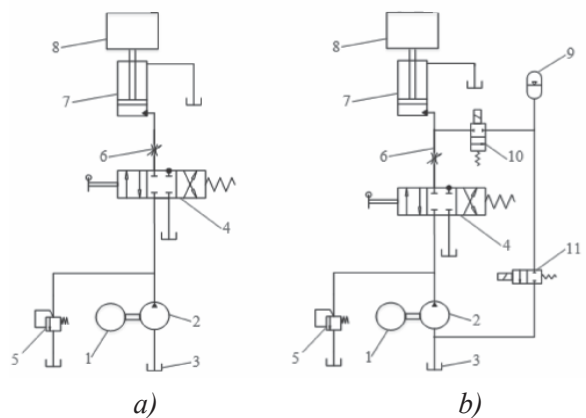
Hiện nay, xe nâng hàng được sử dụng với số lượng lớn để phục vụ công tác nâng hạ hàng tại các kho, bãi, cảng, nhà ga, sân bay... Xe nâng hàng đa dạng về chủng loại, kích thước, mẫu mã. Phân loại theo nguồn dẫn động bao gồm: dẫn động bằng động cơ đốt trong, dẫn động bằng động cơ điện; theo tải trọng nâng có loại nhỏ, trung bình và nặng. Trong đó, xe nâng điện tải trọng nâng nhỏ thường được sử dụng trong các nhà xưởng, phòng thực hành, vì xe này có kích thước nhỏ gọn, không phát thải khí xả [1-2]. Tuy nhiên, để thiết kế hệ thống dẫn động nâng hàng, cần phải tính toán lựa chọn các phần tử chính của xe như các xylanh, van phân phối, bơm thủy lực, mô tơ dẫn động. Các phương pháp tính toán lý thuyết thường cho ra kết quả khó theo dõi, đòi hỏi giải nhiều phương trình toán. Trong khi đó, việc áp dụng các phần mềm thiết kế sẽ cho kết quả nhanh, chính xác và dễ dàng tối ưu hóa các tham số thiết kế [3-6]. Trong bài báo này, bình tích áp được dùng để thu hồi năng lượng khi xylanh nâng hàng đi xuống. Sau đó, năng lượng từ bình tích áp được xả vào đường hút của bơm thủy lực. Bài báo sử dụng phần mềm AMESIM để tính toán thiết kế hệ thống. Kết quả mô phỏng bằng phần mềm cho thấy có thể giảm được xấp xỉ 13% năng lượng tiêu thụ của mô tơ dẫn động so với mạch cơ bản không thu hồi năng lượng.

2. THIẾT KẾ HỆ THỐNG THỦY LỰC NÂNG HẠ HÀNG CỦA XE NÂNG

2.1. Sơ đồ mạch thủy lực nâng hạ hàng xe nâng

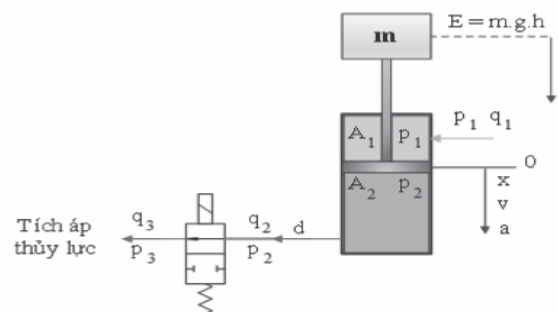
Sơ đồ nguyên lý mạch thủy lực nâng hạ hàng của xe được thể hiện ở Hình 1. Trong sơ đồ (1-a) mô tơ thủy lực (2) được dẫn động từ mô tơ điện (1). Dầu được bơm hút từ thùng (3)

qua van phân phối (4) để dẫn động cho xylanh một chiều (7) nâng và hạ hàng nâng (8). Trong sơ đồ (1-b) nhánh đầu ra của xylanh được nối tiếp với bình tích áp (9). Khi xylanh đi xuống, dầu cao áp từ khoang piston được tích vào bình tích áp; trong quá trình nâng, dầu từ bình tích áp được cấp vào đường hút của bơm thủy lực. Do dầu vào đường hút của bơm có áp suất cao hơn so với trường hợp (1-a) nên có thể giảm được công suất tiêu thụ của mô tơ điện.



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý mạch nâng, hạ hàng
a) Mạch cơ bản, b) Mạch có thu hồi năng lượng;
1 - Mô tơ điện; 2 - Bơm thủy lực; 3 - Thùng dầu;
4 - Van phân phối; 5 - Van an toàn; 6 - Van tiết lưu;
7 - Xylanh nâng hàng; 8 - Vật nâng;
9 - Tích áp thủy lực; 10 - Van nạp; 11 - Van xả

2.2. Tính toán mô phỏng bằng phần mềm AMESIM



Hình 2. Nguyên lý hoạt động của xylanh nâng, hạ hàng

Phương trình mô tả chuyển động của vật nâng m :

$$m.a = mg + p_1 A_1 - p_2 A_2 - F_f \quad (1)$$

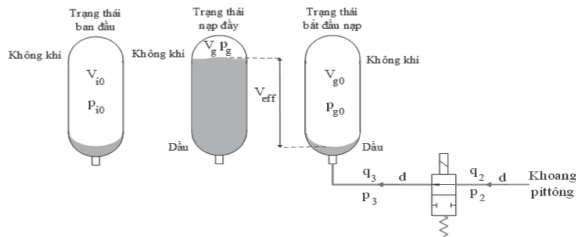
Áp suất dầu trong khoang piston được xác định từ công thức:

$$p_2 = \frac{m(g-a) + p_1 A_1 - F_f}{A_2} \quad (2)$$

Lưu lượng dầu đi ra khỏi khoang piston xác định theo công thức:

$$q_2 = q_1 + (A_2 - A_1).v \quad (3)$$

Trong đó, m là khối lượng, a là gia tốc, v là vận tốc, p_1 là áp suất dầu khoang cần, p_2 là áp suất dầu khoang pít tông, F_f là tổng lực cản ma sát và cản nhớt, A_1 là diện tích khoang cần, A_2 là diện tích khoang xy lanh.



Hình 3. Nguyên lý hoạt động của tích áp thủy lực

Trong quá trình thu hồi năng lượng, áp suất và thể tích khí bên trong bình tuân theo quy luật:

$$q_2 = q_1 + (A_2 - A_1).v \quad (4)$$

$$p_{i0} V_{i0}^\lambda = p_{g0} V_{g0}^\lambda = p_g V_g^\lambda \quad (5)$$

Trong đó, λ là hệ số mũ, V_{i0} là thể tích khí ban đầu, p_{i0} là áp suất khí nạp ban đầu, V_{g0} là thể tích khí tại thời điểm ban đầu nạp dầu, p_{g0} là áp suất khí ở thời điểm ban đầu nạp dầu, V_g là thể tích khí tại thời điểm nạp đầy dầu, p_g là áp suất khí tại thời điểm nạp đầy dầu.

Thể tích hiệu dụng V_{eff} của dầu trong bình được tính theo công thức:

$$V_{eff} = V_{g0} - V_g \quad (6)$$

Năng lượng thu hồi có thể tính theo công thức như sau:

$$E_{th} = \frac{p_{g0} V_{g0}}{\lambda - 1} \left[\left(\frac{V_g}{V_{g0}} \right)^{1-\lambda} - 1 \right] \quad (7)$$

Năng lượng có thể thu hồi từ hệ thống E_{pot} là thế năng của khối lượng m , tính theo công thức:

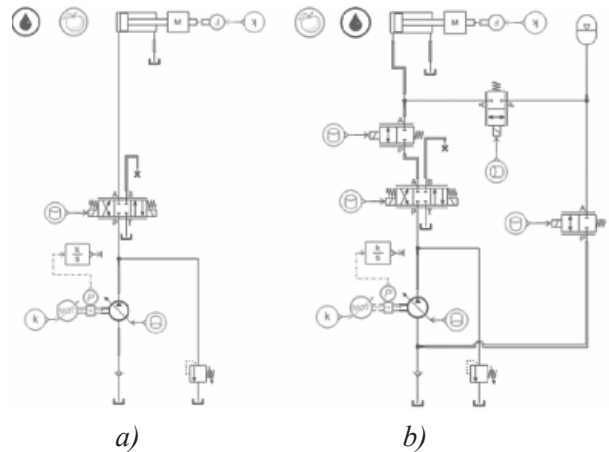
$$E_{pot} = m.g.h \quad (8)$$

Trong đó, m là khối lượng, g là gia tốc trọng trường, h là khoảng cách dịch chuyển.

Tỉ lệ thu hồi năng lượng được tính theo công thức:

$$\varepsilon = \frac{E_{th}}{E_{pot}} . 100\% \quad (9)$$

Sơ đồ mô phỏng mạch thủy lực bằng phần mềm AMESIM như thể hiện ở Hình 4.



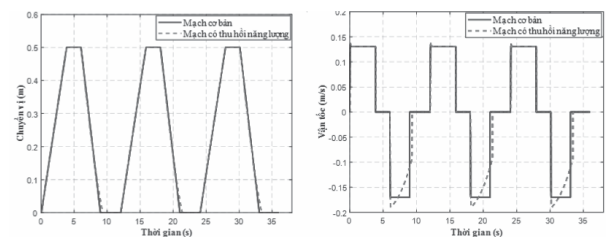
Hình 4. Sơ đồ mô phỏng mạch thủy lực bằng AMESIM
a) Mạch cơ bản; b) Mạch có thu hồi năng lượng

Bảng 1. Thông số mô phỏng mạch thủy lực

Đối tượng	Tham số	Giá trị	Đơn vị
Dầu thủy lực	Loại dầu	Cơ bản	
	Nhiệt độ	40	°C
	Khối lượng riêng	850	kg/m ³
	Môđun khối	17000	bar
Khối lượng	M	1500	kg
Bơm thủy lực	Lưu lượng riêng lớn nhất	25	cc/vòng
	Hiệu suất cơ khí	0.96	-
	Hiệu suất lưu lượng	0.92	-
	Tốc độ làm việc	1500	vòng/phút
Xylanh thủy lực	Đường kính piston	55	mm
	Đường kính cán piston	30	mm
	Hành trình	0.5	m
Van chính	Cường độ dòng	40	mA
	Lưu lượng mở lớn nhất	50	L/phút
Van 2/2	Trạng thái ban đầu	1	-
	Lưu lượng mở lớn nhất	50	L/phút
Van an toàn	Áp suất mở van	150	bar
Bình tích áp	Thể tích ban đầu	2.2	Lít
	Áp suất nạp ban đầu	12	bar

3. KẾT QUẢ VÀ NHẬN XÉT

Đồ thị so sánh chuyển vị và vận tốc của piston được thể hiện trên Hình 5. Qua đồ thị có thể thấy chuyển vị của piston trong mạch cơ bản và mạch có thu hồi năng lượng là tương đồng về quy luật. Tuy nhiên, vận tốc của piston trong hành trình đi xuống của mạch có thu hồi năng lượng có quy luật biến đổi là đường cong, do bình tích áp đặt tại đầu ra nên vận tốc sẽ giảm bắt đầu từ lúc đi xuống cho đến cuối hành trình. Giá trị trung bình vận tốc xấp xỉ giá trị của vận tốc ở mạch cơ bản.



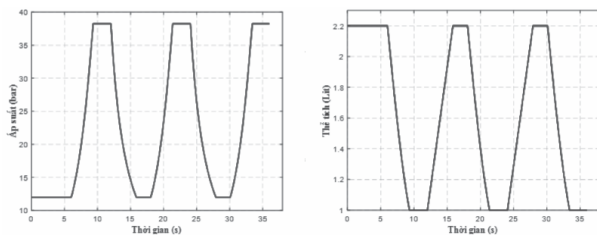
a)

b)

Hình 5. So sánh chuyển vị và vận tốc của các piston:

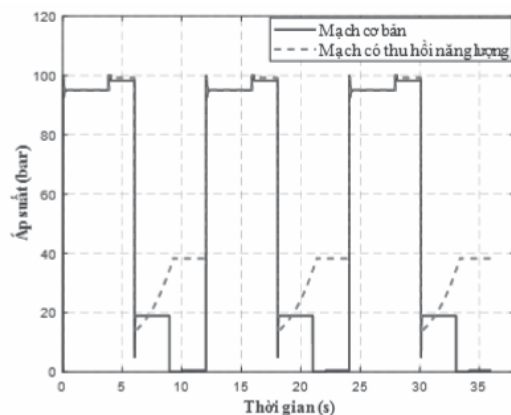
a) Chuyển vị; b) Vận tốc



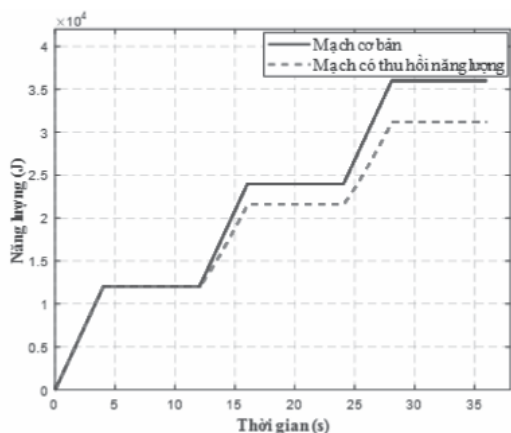


Hình 6. Thông số làm việc của bình tích áp

Từ Hình 6 có thể thấy trong quá trình làm việc, áp suất và thể tích của bình tích áp thay đổi theo hành trình của piston. Áp suất lớn nhất bình đạt được xấp xỉ 37 bar. Áp suất và thể tích của bình tích áp trong bài báo được chọn dựa vào mối quan hệ của hành trình và vận tốc làm việc của piston so với mạch cơ bản, mà vẫn đảm bảo giảm năng lượng tiêu thụ của mạch.



Hình 7. Áp suất khoang piston



Hình 8. Năng lượng tiêu thụ của bơm

Từ Hình 7 cho thấy sự khác biệt của áp suất khoang piston của hai mạch. Ở mạch cơ bản, áp suất trong quá trình đi xuống của piston thay đổi đột ngột và dạng bậc; trong khi đó áp suất ở mạch có thu hồi năng lượng thay đổi theo dạng đường cong và áp suất tăng cao hơn vì có bình tích áp nối với khoang piston. Nhờ vào hệ thống thu hồi và tái sử dụng năng lượng từ quá trình đi xuống của piston nên năng lượng của mạch có hệ thống thu hồi giảm so với hệ thống cơ bản. Theo kết quả mô phỏng có thể giảm được xấp xỉ 13% năng lượng tiêu thụ, như thể hiện ở Hình 8.

Như vậy, khi thiết kế hệ thống thủy lực của xe nâng hàng tải trọng nhỏ, dùng nguồn động lực là mô tơ điện sẽ có hai phương án. Với phương án sử dụng mạch cơ bản, vận tốc làm việc của piston cũng như áp suất khoang piston sẽ thay đổi theo bậc và không tiết kiệm năng lượng. Với phương án sử dụng bình tích áp thủy lực để thu hồi năng lượng, sẽ làm giảm tốc độ của quá trình đi xuống của piston ở giai đoạn cuối hành trình, nhưng vẫn đảm bảo giá trị làm việc trung bình. Ưu điểm nổi bật của phương án dùng tích áp thủy lực là có thể tiết kiệm được năng lượng trong quá trình sử dụng máy. Điều này đảm bảo quá trình vận hành, vừa đảm bảo yếu tố kỹ thuật và yếu tố kinh tế. ♦

Ngày nhận bài: 15/5/2025

Ngày phản biện: 11/6/2025

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Đỗ Hữu Tuấn, Phùng Công Dũng, “Ứng dụng phần mềm Solidworks kiểm nghiệm khả năng chịu tải của bộ công tác xe nâng hàng tự hành tải trọng 3 tấn”. Số đặc biệt 11/2022, Tạp chí Cơ khí Việt Nam.
- [2]. Bùi Văn Trâm, Nguyễn Xuân Hòa, Đỗ Hữu Tuấn, Phùng Công Dũng, “Nghiên cứu thiết kế và chế tạo bộ công tác đa năng lắp trên xe

- nâng điện”. Tạp chí Cơ khí Việt Nam, số 327, tháng 4/2025.
- [3]. Ryszard Dindorf, Jakub Takosoglu, Piotr Wos, “*Review of Hydro-Pneumatic Accumulator Models for the Study of the Energy Efficiency of Hydraulic Systems*”. Energies, doi.org/10.3390/en16186472.
- [4]. Waldemar Latas, Jerzy Stojek, “*A new type of hydrokinetic accumulator and its simulation in hydraulic lift with energy recovery system*”. Energy, DOI 10.1016/j.energy.2018.04.040.
- [5]. Yanxiong Liu, Zhicheng Xu, Lin Hua, Xinhao Zhao, “*Analysis of energy characteristic and working performance of novel controllable hydraulic accumulator with simulation and experimental methods*”. Energy Conversion and Management, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113196>.
- [6]. A. Pfeffer, T. Glück, W. Kemmetmüller & A. Kugi, “*Mathematical modelling of a hydraulic accumulator for hydraulic hybrid drives*”. Mathematical and Computer Modelling of Dynamical Systems, DOI: 10.1080/13873954.2016.1174716.
- [7]. Van Tinh Nguyen, “*Fuel-Saving Solution for Forklifts Using Hydraulic Energy Storage and Regeneration Device Cluster Additionally Installed*”. Advances in Science and Technology Research Journal, <https://doi.org/10.12913/22998624/188590>.