

MÔ PHỎNG QUÁ TRÌNH LÀM MÁT KHỐI PIN LITHIUM TRONG XE ĐIỆN ỨNG DỤNG PHẦN MỀM ANSYS FLUENT

SIMULATING THE COOLING PROCESS OF LITHIUM BATTERIES IN ELECTRIC VEHICLES USING ANSYS FLUENT SOFTWARE

Trần Phước Dinh, Phạm Minh Mận*, Nguyễn Lê Châu Thành, Bùi Văn Hùng, Tống Duy Quốc

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật – Đại học Đà Nẵng, Đà Nẵng, Việt Nam¹

*Tác giả liên hệ / Corresponding author: pmman@ute.udn.vn

(Nhận bài / Received: 22/8/2023; Sửa bài / Revised: 18/10/2023; Chấp nhận đăng / Accepted: 19/10/2023)

Tóm tắt - Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả thực hiện nghiên cứu làm mát cho bộ pin được lắp đặt trên xe đạp điện có điện áp dung lượng 24V và dung lượng là 12Ah. Trong quá trình sử dụng, nhiệt độ của pin ảnh hưởng rất lớn đến hiệu suất, tuổi thọ và tính an toàn của pin. Nhiệt độ hoạt động tốt nhất của pin được khuyến nghị là từ 0-40°C và nhiệt độ chênh lệch giữa các tế bào pin phải nhỏ hơn 5°C. Vì vậy, việc nghiên cứu làm mát cho pin là một việc có ý nghĩa và hết sức cần thiết với thực trạng hiện nay. Các tế bào pin được đặt cách nhau một khoảng từ 1mm đến 4mm, sau đó không khí làm mát sẽ được đưa vào làm mát có vận tốc tăng từ 1m/s cho đến 20m/s. Mô hình được mô phỏng trên phần mềm ANSYS FLUENT 2021. Từ đó có thể đánh giá và lựa chọn mô hình tốt nhất, với khoảng cách giữa các tế bào pin và vận tốc dòng không khí phù hợp, tiết kiệm năng lượng nhưng vẫn mang lại hiệu quả làm mát tốt.

Từ khóa - Làm mát pin; pin lithium; pin xe điện; nhiệt độ pin

1. Đặt vấn đề

Ngày nay, xe điện là xu hướng phát triển của ngành ô tô. Xe điện sẽ đóng vai trò chủ đạo trong quá trình chuyển đổi sang hệ thống giao thông ít carbon. Nhiều hãng xe lớn hiện nay tập trung nghiên cứu, phát triển các sản phẩm của xe điện. Dự kiến trên toàn thế giới sẽ tăng từ 1,3 lên 2 tỷ xe điện cho đến năm 2030 [1]. Trong đó, pin là một trong những thách thức đối với ngành ô tô điện. Nhiệt độ của pin ảnh hưởng rất nhiều đến hiệu suất cũng như tuổi thọ của pin. Nhiệt độ hoạt động tốt nhất của pin được khuyến nghị là từ 0-40°C [2, 3], và nhiệt độ chênh lệch giữa các tế bào pin phải nhỏ hơn 5°C [4, 5]. Nhiệt độ tỏa ra trong quá trình sạc và xả của pin được xác định là nguyên nhân chính làm nhiệt độ của hệ thống pin tăng lên. Đối với pin lithium hiện nay khi nhiệt độ của pin lớn hơn 40°C làm giảm hiệu suất của pin, dung lượng thấp đồng thời ảnh hưởng đến tính an toàn của hệ thống. Khi nhiệt độ của pin thấp hơn -10°C cũng ảnh hưởng đến hiệu suất của hệ thống [6].

Để duy trì được hiệu suất làm mát và tính an toàn của hệ thống pin, đã có nhiều nghiên cứu về hệ thống làm mát cho pin. Có nhiều phương pháp làm mát khác nhau như phương pháp làm mát bằng dòng không khí cưỡng bức, đây là phương pháp có cấu tạo đơn giản và chi phí thấp nhất nhưng hiệu quả làm mát phụ thuộc vào nhiệt độ của không khí đầu vào. Ở các nước nhiệt đới, nhiệt độ cao hiệu quả làm mát của hệ thống này không cao và không phù hợp.

Abstract - In this study, the authors modeled the cooling process for a battery pack installed on an electric bicycle with a voltage capacity of 24V and a capacity of 12Ah. During usage, the temperature of the battery significantly impacts its performance, lifespan, and safety. The recommended operating temperature range for the battery is from 0-40°C, and the temperature difference between battery cells should be kept less than 5°C. Therefore, researching battery cooling is of scientific significance and utmost importance in the current situation. The battery cells were spaced from 1mm to 4mm apart, and then cooling air was introduced with increasing velocities from 1m/s to 20m/s. The model was simulated using ANSYS FLUENT 2021 software. From these results, the best model can be evaluated and selected, with appropriate spacing between battery cells and airflow velocity, achieving energy efficiency while still providing effective cooling.

Key words - Lithium battery; battery cooling system; electric vehicle battery; battery temperature

Nhiều nhà khoa học đã nghiên cứu tối ưu làm tăng hiệu suất của hệ thống làm mát như [6-9]. Phương pháp làm mát bằng nước là phương pháp giữ cho nhiệt hệ thống pin có tính ổn định cao, tuy nhiên cấu tạo của hệ thống phức tạp và chi phí cao [10-12]. Phương pháp làm mát bằng vật liệu chuyển đổi pha là một phương pháp được các nhà khoa học tập trung nghiên cứu gần đây [13, 14]. Vật liệu chuyển đổi pha sẽ hấp thụ lượng nhiệt phát ra của pin khi nhiệt độ của pin tăng lên, khi nhiệt độ của pin giảm xuống thì vật liệu chuyển đổi pha sẽ cung cấp nhiệt cho hệ thống. Khuyết điểm của phương pháp này là vật liệu chuyển đổi pha có giá thành cao và làm tăng nhiều khối lượng của hệ thống từ đó làm ảnh hưởng đến quãng đường di chuyển của hệ thống xe điện.

Ngoài các hệ thống nêu trên còn có các hệ thống làm mát cho pin được kết hợp giữa các hệ thống như: Hệ thống làm mát bằng nước kết hợp vật liệu chuyển đổi pha [15, 16], làm mát bằng không khí kết hợp với vật liệu chuyển đổi pha [16, 17], làm mát bằng chất lỏng và không khí [18]... Phương pháp làm mát bằng không khí là một phương pháp có chi phí thấp, cấu tạo đơn giản. Tuy nhiên, hiệu suất làm mát của hệ thống phụ thuộc vào nhiệt độ của không khí đầu vào. Đã có các nghiên cứu làm tăng hiệu suất của hệ thống làm mát bằng không khí như thêm tấm hướng dòng, thêm các tấm phẳng làm tăng độ đồng đều nhiệt độ của các tế bào pin nhỏ hơn 5°C, nhiệt độ của pin nhỏ hơn 40°C.

¹ The University of Danang – University of Technology and Education, Danang, Vietnam (Dinh Tran Phuoc, Minh Mam Pham, Chau Thanh Nguyen Le, Hung Bui Van, Duy Quoc Tong)

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả thực hiện nghiên cứu làm mát cho bộ pin được lắp đặt trên xe đạp điện có điện áp dung lượng 24V và dung lượng là 12Ah. Các tế bào pin được đặt cách nhau một khoảng từ 1mm đến 4mm, sau đó không khí làm mát sẽ được đưa vào làm mát có vận tốc tăng từ 1m/s cho đến 20m/s. Mô hình được mô phỏng trên phần mềm ANSYS FLUENT 2021R1 và cho ra các kết quả về nhiệt độ lớn nhất của pin, độ chênh lệch nhiệt độ, tốc độ và áp suất của không khí cũng như độ chênh lệch áp suất đầu vào và ra của bộ pin. Từ đó có thể đánh giá và lựa chọn mô hình tốt nhất, với khoảng cách giữa các tế bào pin và vận tốc dòng không khí phù hợp, tiết kiệm năng lượng nhưng vẫn mang lại hiệu quả làm mát tốt.

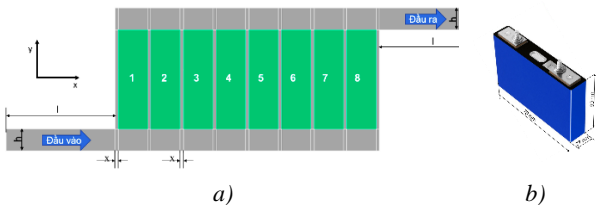
2. Mô hình và cơ sở lý thuyết

2.1. Xây dựng cơ sở lý thuyết

Trong nghiên cứu này nhóm tác giả thực hiện trên mô hình pin xe điện bao gồm 8 tế bào pin có thông số như Bảng 1, tế bào pin có điện áp ổn định là 3,2V và dung lượng 12Ah. Các tế bào pin được mắc nối tiếp với nhau tạo thành khối pin có điện áp 24V – 12Ah. Tế bào pin được đặt cách nhau một khoảng cách x. Chiều cao của đầu vào và ra là h = 20mm, chiều dài l = 10mm. Tế bào pin có kích thước dài, rộng, cao lần lượt là 70mm, 27mm, 90mm. Mô hình được nghiên cứu ở 2D, trong nghiên cứu trước đây của Wang và cộng sự [19] đã tính toán cho thấy kết quả giữa 2D và 3D rất gần nhau. Tuy nhiên việc tính toán mô hình ở dạng 2D có thời gian tính toán thấp hơn nhiều. Cho nên việc tính toán trong môi trường 2D là hoàn toàn phù hợp.

Bảng 1. Thông số kỹ thuật pin lithium LiitoKala 3.2V 12Ah

STT	Thông số	Giá trị
1	Điện áp danh định	3.2V
2	Dung lượng định mức	12Ah
3	Tối đa điện áp sạc	3.65V
4	Chu kỳ cuộc sống	≥ 4000 lần (80% DOD)
5	Nhiệt độ sạc	-10 ~ 45°C
6	Kích thước	27*90*70mm



Hình 1. Mô hình nghiên cứu
a) Kích thước mô hình, b) Kích thước pin

Bảng 2. Thông số vật liệu của pin và không khí [20]

Tính chất	Không khí	Pin	Đơn vị
Trọng lượng riêng	1,165	1542,9	kg/m ³
Nhiệt dung riêng	1005	1337	J/(kg.k)
Độ nhớt	1,86x10 ⁻⁵	-	kg/(m.s)
Độ dẫn nhiệt	0,0267	1,05(kx); 21,1(ky); 21,1(kz)	W/(m.K)
Nhiệt độ ban đầu	299,15	299,15	K

Trong bài báo này, phương pháp mô phỏng CFD được sử dụng tính toán nhiệt độ và dòng chảy của không khí

trong hệ thống làm mát pin bằng không khí, nhiệt độ tối đa của pin, độ chênh lệch nhiệt độ của các tế bào pin, độ chênh lệch áp suất để tính toán hiệu suất làm mát tốt nhất của hệ thống làm mát pin ở các khoảng cách x khác nhau và tốc độ đầu vào khác nhau. Từ đó xây dựng nên cơ sở dữ liệu để có thể chọn được khoảng cách tối ưu cho hệ thống làm mát bằng không khí. Phương pháp nghiên cứu mô phỏng sử dụng các phần mềm CFD được nhiều nhà nghiên cứu sử dụng, đã có nhiều kiểm chứng bằng thực nghiệm trong các nghiên cứu cho thấy phương pháp nghiên cứu mô phỏng sử dụng các phần CFD mang lại kết quả chính xác cao [5, 9, 17]. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả thực hiện mô phỏng trên phần mềm ANSYS FLUENT 2021R1 cho sinh viên. Với vận tốc dòng khí đầu vào được đặt cố định có giá trị từ 1m/s đến 20m/s, ở nhiệt độ môi trường là 299,15K, thông số tính chất vật liệu được thể hiện rõ trong Bảng 2. Sự truyền nhiệt qua vỏ pin không được xem xét trong nghiên cứu này. Pin được làm việc ở trường hợp xả với tốc độ dòng xả 5C, nhiệt sinh ra của mỗi tế bào pin là 11,8 (W).

Để mô hình hóa trường vận tốc của dòng chảy làm mát cho bộ pin, nhóm tác giả áp dụng mô hình k-ε Standard trong phần mềm ANSYS FLUENT. Trong mô hình này, sự chuyển đổi năng lượng và sự phân tán rối của môi trường được thể hiện trong các phương trình sau:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k \tag{1}$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \epsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} + S_\epsilon \tag{2}$$

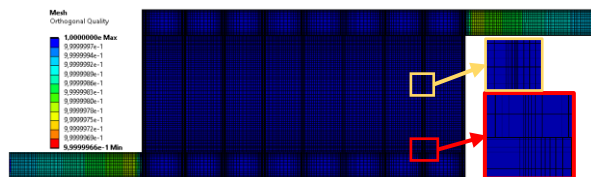
Trong các phương trình này, G_k đại diện cho việc tạo ra động năng nhiễu loạn do các gradient vận tốc trung bình. G_b là sự tạo ra động năng nhiễu loạn do lực đẩy. Y_M đại diện cho sự đóng góp của độ giãn nở dao động trong dòng chảy hỗn loạn nén vào tốc độ tiêu tán tổng thể. Bên cạnh đó còn có các hệ số của mô hình k - ε Standard.

Bảng 3. Hệ số của mô hình k - ε Standard [21]

C _{ε1}	C _{ε2}	C _μ	σ _k	σ _ε
1,44	1,92	0,09	1,00	1,30

2.2. Xây dựng mô hình lưới.

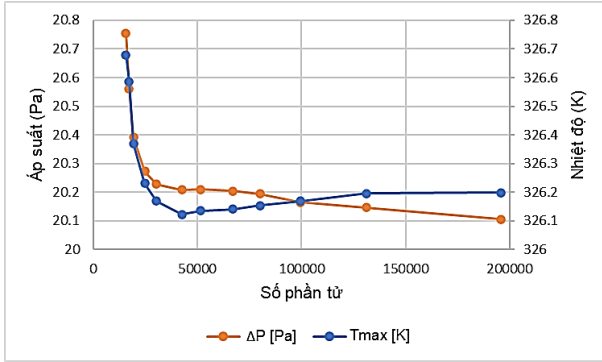
Trong phần mềm ANSYS FLUENT, mô hình được chia thành các phần thể tích nhỏ, hay còn gọi là chia lưới. Mô hình được chia lưới cấu trúc với chất lượng lưới cao, theo phương pháp Orthogonal chất lượng lưới trung bình là 1 (1 là lưới tốt nhất, 0 là lưới xấu nhất). Các lớp biên được chia thành các phần tử lưới nhỏ hơn, hình dưới đây thể hiện chất lượng của các phần tử lưới trong mô hình.



Hình 2. Chất lượng lưới theo phương pháp Orthogonal

Chỉ số lưới là một trong những ảnh hưởng đến tính hội tụ và thời gian tính toán. Khi số lượng phần tử thấp kết quả

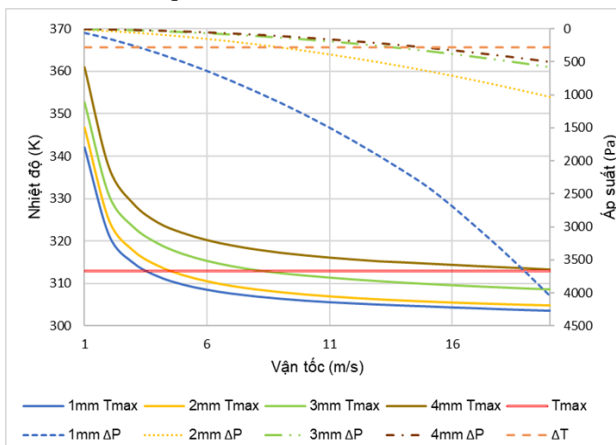
mô phỏng sẽ không chính xác nhưng thời gian ngắn. Khi số lượng phần tử cao kết quả mô phỏng có độ chính xác cao nhưng thời gian mô phỏng dài. Vì vậy việc tính toán số lượng phần tử để thực hiện mô phỏng là hết sức cần thiết, vừa đảm bảo kết quả mô phỏng chính xác và thời gian mô phỏng ngắn. Trong Hình 3 cho thấy khi số lượng phần tử lưới tăng lên đến 30400 phần tử, nhiệt độ lớn nhất T_{max} của tế bào pin và sự chênh lệch áp suất ΔP đã hội tụ. Việc tính toán ở số lượng phần tử phù hợp sẽ cho kết quả hội tụ và làm giảm thời gian tính toán. Nên trong mô hình được tính toán với 30400 phần tử.



Hình 3. Kết quả tính toán sự hội tụ lưới

3. Thảo luận và đánh giá kết quả.

Trong mô hình nghiên cứu, các tế bào pin được đặt cách nhau một khoảng từ 1mm đến 4mm, sau đó không khí làm mát sẽ được đưa vào làm mát có vận tốc tăng từ 1m/s cho đến 20m/s. Mô hình được mô phỏng trên phần mềm ANSYS FLUENT và cho ra các kết quả về nhiệt độ lớn nhất của pin, độ chênh lệch nhiệt độ, tốc độ và áp suất của không khí cũng như độ chênh lệch áp suất đầu vào và ra của bộ pin. Trong phần này, nhóm tác giả sẽ phân tích hiệu suất làm mát của hệ thống qua các thông số như nhiệt độ lớn nhất của pin T_{max} , độ chênh lệch nhiệt độ ΔT và độ chênh lệch áp suất ΔP đầu ra và vào của pin. Nhiệt độ lớn nhất và độ chênh lệch nhiệt độ ảnh hưởng đến tính an toàn và hiệu suất của pin, đối với độ chênh lệch áp suất liên quan đến công suất tiêu thụ của hệ thống làm mát. Kết quả được thể hiện cụ thể qua Hình 4.



Hình 4. Nhiệt độ lớn nhất của pin và độ chênh lệch áp suất

Hình 4 cho thấy, khi tốc độ dòng không khí đầu vào tăng lên làm cho nhiệt độ của các tế bào pin giảm xuống. Do sự tỷ lệ thuận của số Reynolds và số Nusselt. Số

Reynolds là một giá trị không thứ nguyên biểu thị độ lớn tương đối giữa ảnh hưởng gây bởi lực quán tính và lực ma sát trong (tính nhớt) lên dòng chảy. Nó đặc trưng cho chế độ chuyển động của dòng chảy chất tải nhiệt như dòng chảy tầng, quá độ hay dòng chảy rối được tính theo công thức sau [22]:

$$Re = \frac{\rho u l}{\mu} \quad (3)$$

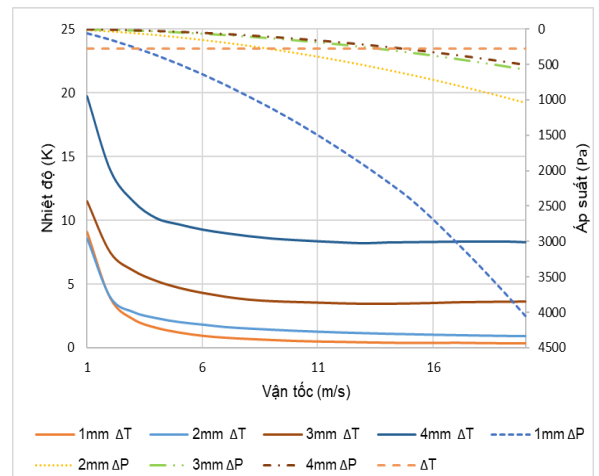
Trong đó: ρ là mật độ vật chất của môi trường đang xét (kg/m^3). u là vận tốc đặc trưng của dòng chảy (m/s). l là quy mô tuyến tính (độ dài) đặc trưng của dòng chảy (m). μ là độ nhớt động lực học của môi trường (kg/(m.s)).

Nusselt là số đặc trưng cho cường độ trao đổi nhiệt giữa chất tải nhiệt và thành thiết bị tỏa nhiệt. Đối với nghiên cứu này, sự trao đổi nhiệt giữa các tế bào pin và không khí được xem như là sự trao đổi nhiệt bên trong ống tiết diện hình chữ nhật. Số Nusselt được tính theo công thức sau [22]:

$$\text{Khi } Re < 2 \times 10^4 \quad Nu = 0,6.Re^{0,5};$$

$$\text{Khi } Re > 2 \times 10^4 \quad Nu = 0,032.Re^{0,8}$$

Nhiệt độ khuyến nghị khi sử dụng pin là nhỏ hơn 40°C , ở các trường hợp khác nhau khi tăng vận tốc dòng khí đầu vào thì nhiệt độ của pin giảm. Nhiệt độ lớn nhất của pin tỷ lệ nghịch với vận tốc dòng không khí đầu vào. Sự thay đổi này là do số Nusselt (Nu) đặc trưng cho cường độ trao đổi nhiệt trong trường hợp đối lưu cưỡng bức phụ thuộc vào số Reynolds (Re) đặc trưng cho chế độ chuyển động cưỡng bức của chất tải nhiệt. Để nhiệt độ lớn nhất của pin nhỏ hơn 40°C và độ chênh lệch nhiệt độ nhỏ hơn 5°C thì cần tăng tốc độ dòng không khí đầu vào phù hợp ở các trường hợp khoảng cách x khác nhau. Cụ thể, với trường hợp $x = 1\text{mm}$ khi tốc độ dòng không khí đạt 4m/s thì nhiệt độ cao nhất của pin còn 312K , ở trường hợp $x = 4\text{mm}$ cần tăng tốc độ dòng không khí đầu vào và cần tăng lên đến 20m/s thì nhiệt độ lớn nhất của pin mới giảm thấp hơn 40°C . Khi tốc độ đầu vào của dòng không khí bằng nhau ở các trường hợp khoảng cách x khác nhau thì nhiệt độ lớn nhất của pin trong trường hợp $x = 4\text{mm}$ là cao nhất, do sự phân bố vận tốc không đồng đều ở các tế bào pin lớn nhất.

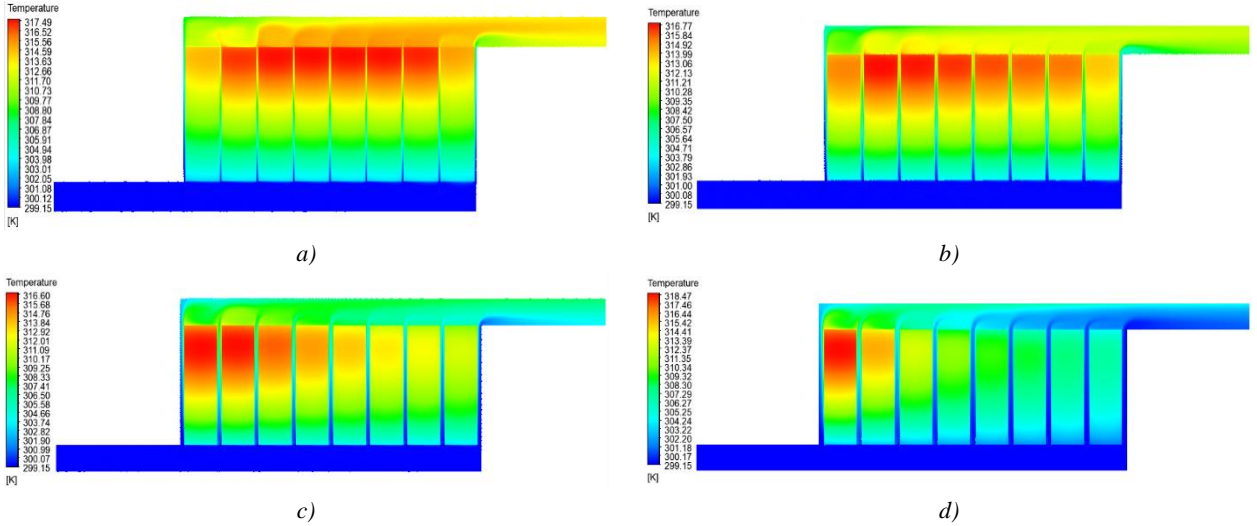


Hình 5. Độ chênh lệch nhiệt độ và áp suất

Ở các trường hợp khoảng cách x khác nhau giữa các tế bào pin, cùng một tốc độ không khí đầu vào, nhiệt độ của tế bào pin có khoảng cách x lớn hơn, sẽ có nhiệt độ

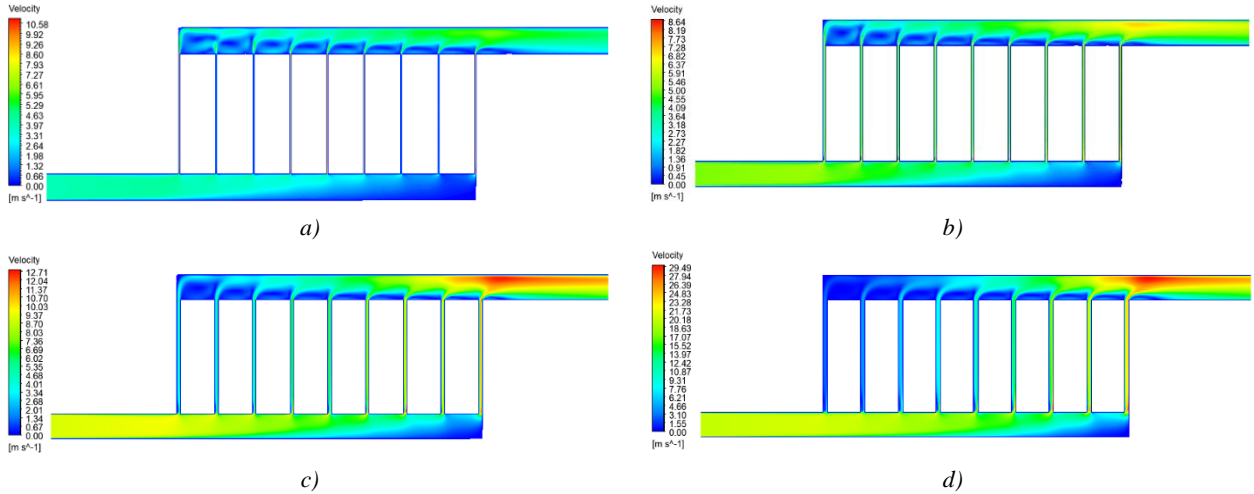
lớn nhất cao hơn được thể hiện rõ ở Hình 4 và Hình 5. Khi khoảng cách lớn tốc độ dòng khí đi qua các tế bào pin cuối lớn, ở các tế bào pin đầu tốc độ dòng khí nhỏ, không

có sự đồng đều tốc độ giữa các tế bào pin. Do đó, nhiệt độ của tế bào pin đầu không được làm mát tốt và có nhiệt độ cao nhất.



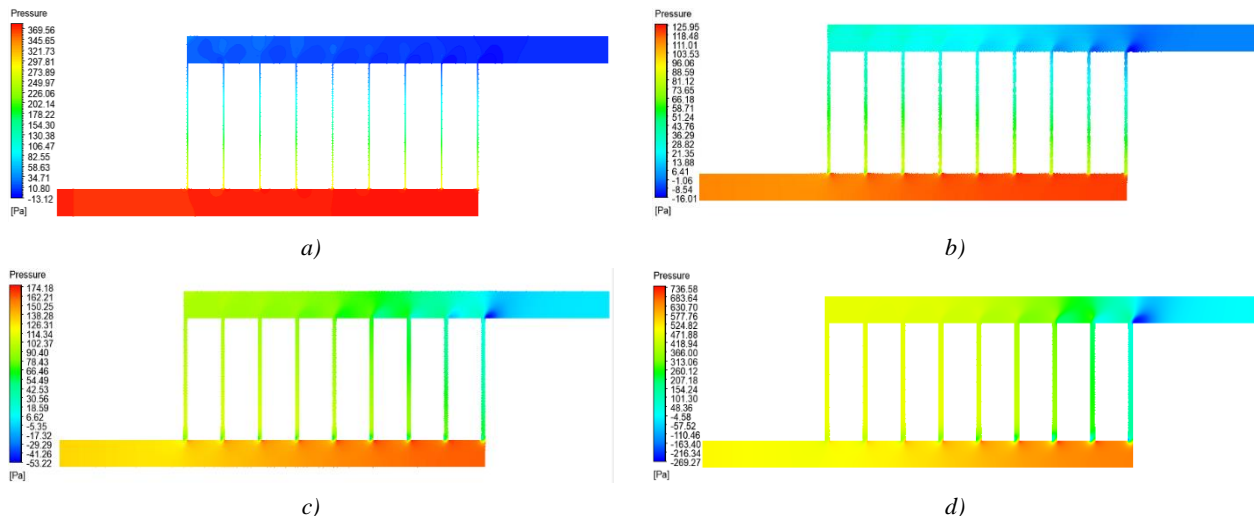
Hình 6. Phân bố nhiệt độ trong bộ pin

a) $x = 1mm, v = 4m/s$; b) $x = 2mm, v = 5m/s$; c) $x = 3mm, v = 9m/s$; d) $x = 4mm, v = 20m/s$



Hình 7. Phân bố vận tốc trong bộ pin

a) $x = 1mm, v = 4m/s$; b) $x = 2mm, v = 5m/s$; c) $x = 3mm, v = 9m/s$; d) $x = 4mm, v = 20m/s$



Hình 8. Phân bố áp suất trong bộ pin

a) $x = 1mm, v = 4m/s$; b) $x = 2mm, v = 5m/s$; c) $x = 3mm, v = 9m/s$; d) $x = 4mm, v = 20m/s$

Với yêu cầu nhiệt độ hoạt động của pin là từ 0-40°C, và nhiệt độ chênh lệch giữa các tế bào pin phải nhỏ hơn 5°C và tiết kiệm năng lượng. Vì vậy dựa vào Hình 4 ta có thể chọn được các trường hợp vận tốc phù hợp với các khoảng cách khác nhau. Đối với khoảng cách $x = 1\text{mm}, 2\text{mm}, 3\text{mm}, 4\text{mm}$ vận tốc dòng không khí đầu vào phù hợp lần lượt là 4m/s, 5m/s, 9m/s, 20m/s, đó là vận tốc thấp nhất để có thể làm mát được khối pin. Từ đó việc tính toán công suất tiêu thụ lý tưởng quạt làm mát của khối pin ở các trường hợp khoảng cách x sẽ được tính theo vận tốc dòng không khí đầu vào phù hợp này.

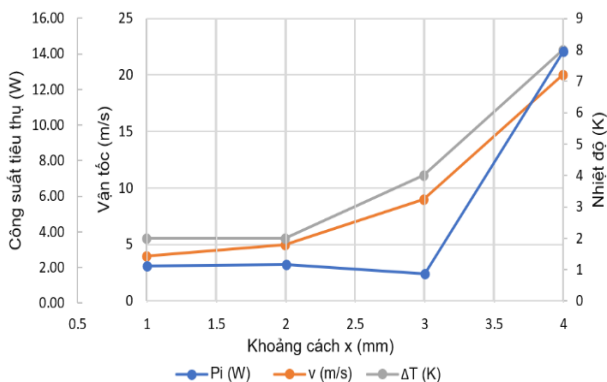
Sự phân bố nhiệt độ, vận tốc và áp suất trong khối pin được thể hiện trong Hình 6, 7 và 8. Khi khoảng cách nhỏ sẽ làm cho nhiệt độ chênh lệch giữa các tế bào pin đồng đều nhau vì vận tốc và áp suất dòng không khí đi qua các tế bào pin là tương tự nhau. Khi khoảng cách giữa các tế bào pin tăng lên sẽ làm nhiệt độ chênh lệch giữa các tế bào tăng lên. Do vận tốc và áp suất dòng không khí ở các tế bào pin cuối cao hơn các tế bào pin đầu.

Áp suất chênh lệch trong hệ thống làm mát ảnh hưởng đến công suất của quạt cần cung cấp công suất của quạt có thể được tính theo công thức sau [23].

$$P_i = \Delta p \cdot q \quad (4)$$

Trong đó: P_i là công suất tiêu thụ lý tưởng của quạt (W), Δp là tổng áp suất tăng trong quạt (Pa) và q là lưu lượng thể tích do quạt cung cấp (m^3/s).

Từ công thức tính công suất của quạt cho thấy, công suất của quạt tỷ lệ thuận với độ chênh lệch áp suất và lưu lượng khí đầu vào. Vì vậy việc xem xét khoảng cách của các tế bào pin để tối ưu công suất quạt làm mát là cần thiết, từ đó cải thiện hiệu suất của hệ thống làm mát bằng quạt đồng thời tiết kiệm năng lượng. Với yêu cầu độ đồng đều nhiệt độ của các tế bào pin nhỏ hơn 5°C, nhiệt độ của pin nhỏ hơn 40°C. Trong Hình 4 ta có thể chọn được tốc độ dòng khí đầu vào phù hợp với yêu cầu nhiệt độ lớn nhất và độ chênh lệch nhiệt độ giữa các tế bào pin. Đối với khoảng cách $x = 1\text{mm}, 2\text{mm}, 3\text{mm}, 4\text{mm}$ vận tốc dòng không khí đầu vào phù hợp lần lượt là 4m/s, 5m/s, 9m/s, 20m/s, và độ chênh lệch áp suất trong từng trường hợp lần lượt là 374Pa, 113Pa, 132Pa, 505Pa.



Hình 9. Đồ thị công suất tiêu thụ của quạt làm mát

Trong đồ thị Hình 9 cho ta thấy, đối với khoảng cách x bằng 3mm công suất tiêu thụ của quạt là thấp nhất chỉ 1,66W. Khi tăng khoảng cách giữa các tế bào pin lên 4mm công suất tiêu thụ của quạt cần tăng lên đến 14,13W mới

có thể đáp ứng được yêu cầu làm mát cho mô hình pin trong nghiên cứu này. Đối với khoảng cách giữa các tế bào pin là 1mm và 2mm thì công suất tiêu thụ của quạt lần lượt là 2,09W và 2,18W, công suất tiêu thụ của quạt trong hai trường hợp này cũng thấp có thể được lựa chọn để áp dụng trong những mô hình pin có yêu cầu không gian lắp đặt pin hạn chế.

4. Kết luận

Từ những phân tích trên cho thấy, nghiên cứu cải thiện hiệu suất của hệ thống làm mát cho pin lithium là cần thiết. Việc lựa chọn khoảng cách giữa các tế bào pin ảnh hưởng nhiều đến công suất của quạt trong hệ thống làm mát, từ đó có thể tiết kiệm năng lượng cho hệ thống làm mát. Qua nghiên cứu này có thể rút ra được các kết luận như sau.

Hiệu quả làm mát của bộ pin được nâng cao khi vận tốc dòng không khí đầu vào tăng lên. Đối với phương pháp làm mát cưỡng bức bằng không khí ở các trường hợp khoảng cách giữa các tế bào pin khác nhau cần chọn được tốc độ của dòng không khí đầu vào phù hợp. Cụ thể trong mô hình nghiên cứu, với các khoảng cách 1mm, 2mm, 3mm, 4mm vận tốc phù hợp lần lượt là 4m/s, 5 m/s, 9 m/s, 20 m/s. Khi thay đổi khoảng cách giữa các tế bào pin, làm cho áp suất chênh lệch giữa đầu vào và đầu ra thay đổi. Đối với khoảng cách x bằng 3mm công suất tiêu thụ của quạt là thấp nhất (1,66W). Đối với các bộ pin khi yêu cầu lắp đặt ở một không gian hạn chế ta cần lựa chọn khoảng cách giữa các viên pin và vận tốc dòng không khí đầu vào phù hợp.

Bài báo đã thể hiện rõ được sự ảnh hưởng của khoảng cách giữa các viên pin đến công suất của hệ thống làm mát. Việc điều chỉnh tốc độ dòng khí đầu vào và khoảng cách giữa các viên pin có thể làm giảm công suất tiêu thụ của hệ thống làm mát. Đồng thời còn trình bày ứng dụng phần mềm 'ANSYS FLUENT' cho nghiên cứu mô phỏng quá trình làm mát pin lithium.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ kinh phí bởi Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật – Đại học Đà Nẵng trong đề tài có Mã số T2022-06-14.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] L. S. Martins, L. F. Guimaraes, A. B. Botelho Junior, J. A. S. Tenorio, and D. C. R. Espinosa, "Electric car battery: An overview on global demand, recycling and future approaches towards sustainability", *J Environ Manage*, vol. 295, 113091, Oct 1 2021, doi: 10.1016/j.jenvman.2021.113091.
- [2] X. Li, F. He, and L. Ma, "Thermal management of cylindrical batteries investigated using wind tunnel testing and computational fluid dynamics simulation", *Journal of Power Sources*, vol. 238, pp. 395-402, 2013, doi: 10.1016/j.jpowsour.2013.04.073.
- [3] Á. G. Miranda and C. W. Hong, "Integrated modeling for the cyclic behavior of high power Li-ion batteries under extended operating conditions", *Applied Energy*, vol. 111, pp. 681-689, 2013, doi: 10.1016/j.apenergy.2013.05.047.
- [4] G. Zhong *et al.*, "Researches of composite phase change material cooling/resistance wire preheating coupling system of a designed 18650-type battery module", *Applied Thermal Engineering*, vol. 127, pp. 176-183, 2017, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2017.08.022.
- [5] R. Mahamud and C. Park, "Reciprocating air flow for Li-ion battery thermal management to improve temperature uniformity", *Journal of Power Sources*, vol. 196, no. 13, pp. 5685-5696, 2011, doi:

- 10.1016/j.jpowsour.2011.02.076.
- [6] A. A. H. Akinlabi and D. Solyali, "Configuration, design, and optimization of air-cooled battery thermal management system for electric vehicles: A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 125, 109815, 2020, doi: 10.1016/j.rser.2020.109815.
- [7] G. Zhao, X. Wang, M. Negnevitsky, and H. Zhang, "A review of air-cooling battery thermal management systems for electric and hybrid electric vehicles", *Journal of Power Sources*, Vol. 501, No. 1, 230001, 2021, doi: 10.1016/j.jpowsour.2021.230001.
- [8] D. K. Sharma and A. Prabhakar, "A review on air cooled and air centric hybrid thermal management techniques for Li-ion battery packs in electric vehicles", *Journal of Energy Storage*, Vol. 41, No. 2, 102885, 2021, doi: 10.1016/j.est.2021.102885.
- [9] N. Wang, C. Li, W. Li, M. Huang, and D. Qi, "Effect analysis on performance enhancement of a novel air cooling battery thermal management system with spoilers", *Applied Thermal Engineering*, vol. 192, 116932, 2021, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2021.116932.
- [10] H. Wang, T. Tao, J. Xu, X. Mei, X. Liu, and P. Gou, "Cooling capacity of a novel modular liquid-cooled battery thermal management system for cylindrical lithium ion batteries", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 178, No. 2, 115591, 2020, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2020.115591.
- [11] X.-H. Yang, S.-C. Tan, and J. Liu, "Thermal management of Li-ion battery with liquid metal", *Energy Conversion and Management*, vol. 117, pp. 577-585, 2016, doi: 10.1016/j.enconman.2016.03.054.
- [12] Y. Lai, W. Wu, K. Chen, S. Wang, and C. Xin, "A compact and lightweight liquid-cooled thermal management solution for cylindrical lithium-ion power battery pack", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 144, 118581, 2019, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.118581.
- [13] P. Ping, R. Peng, D. Kong, G. Chen, and J. Wen, "Investigation on thermal management performance of PCM-fin structure for Li-ion battery module in high-temperature environment", *Energy Conversion and Management*, vol. 176, pp. 131-146, 2018, doi: 10.1016/j.enconman.2018.09.025.
- [14] F. Frusteri, V. Leonardi, S. Vasta, and G. Restuccia, "Thermal conductivity measurement of a PCM based storage system containing carbon fibers", *Applied Thermal Engineering*, vol. 25, no. 11-12, pp. 1623-1633, 2005, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2004.10.007.
- [15] Y. Z. *et al.*, "Active cooling based battery thermal management using composite phase change materials", *Energy Procedia*, vol. 158, pp. 4933-4940, 2019, doi: 10.1016/j.egypro.2019.01.697.
- [16] Q. Huang, X. Li, G. Zhang, J. Zhang, F. He, and Y. Li, "Experimental investigation of the thermal performance of heat pipe assisted phase change material for battery thermal management system", *Applied Thermal Engineering*, vol. 141, pp. 1092-1100, 2018, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2018.06.048.
- [17] F. Chen *et al.*, "Air and PCM cooling for battery thermal management considering battery cycle life", *Applied Thermal Engineering*, vol. 173, 115154, 2020, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2020.115154.
- [18] Z. Rao, Z. Qian, Y. Kuang, and Y. Li, "Thermal performance of liquid cooling based thermal management system for cylindrical lithium-ion battery module with variable contact surface", *Applied Thermal Engineering*, vol. 123, pp. 1514-1522, 2017, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2017.06.059.
- [19] M. Wang, S. Teng, H. Xi, and Y. Li, "Cooling performance optimization of air-cooled battery thermal management system", *Applied Thermal Engineering*, vol. 195, 117242, 2021, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2021.117242.
- [20] K. Chen, W. Wu, F. Yuan, L. Chen, and S. Wang, "Cooling efficiency improvement of air-cooled battery thermal management system through designing the flow pattern", *Energy*, vol. 167, pp. 781-790, 2019, doi: 10.1016/j.energy.2018.11.011.
- [21] ANSYS, *Fluent User's Guide*, 2022.
- [22] J.L. Monteith and M. H. Unsworth, "Appendix" in *Principles of Environmental Physics*, Elsevier, 2013, pp. 373-381.
- [23] The Engineering ToolBox. *Fans - Efficiency and Power Consumption*, 2023. [online] Available at: https://www.engineeringtoolbox.com/fans-efficiency-power-consumption-d_197.html [Accessed 15/8/2023]