



Tạp chí

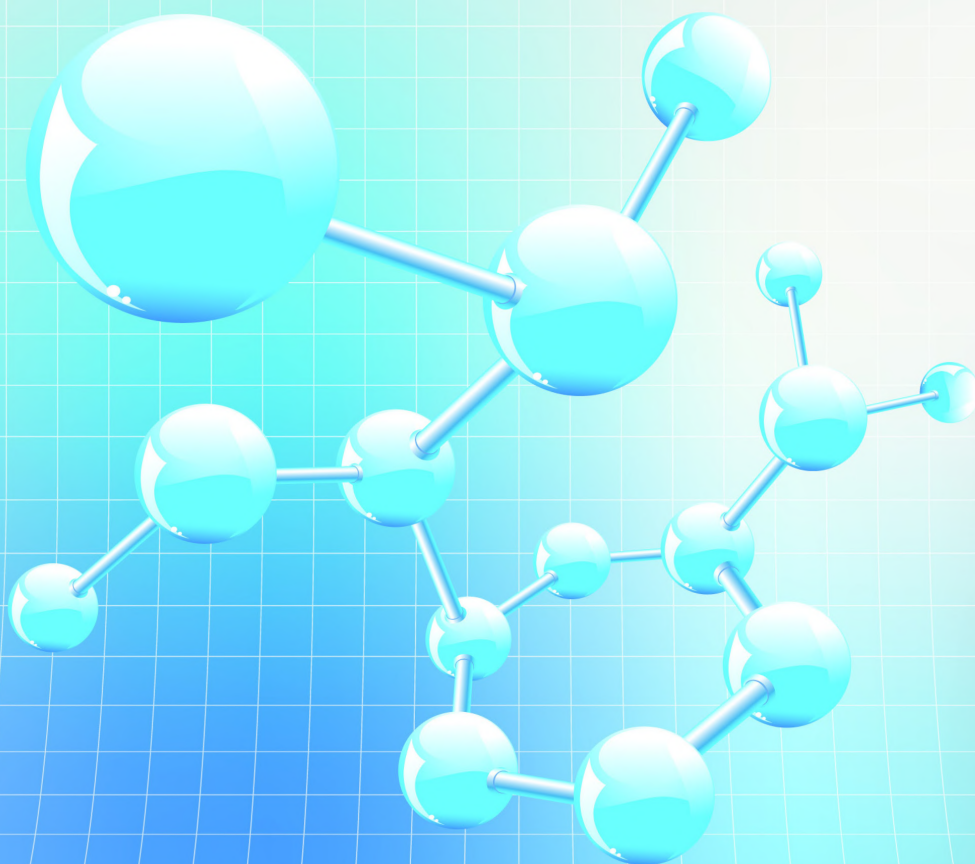
NGHIÊN CỨU KHOA HỌC

Đ A I H Ọ C S A O ĐỎ

SCIENTIFIC JOURNAL - SAO DO UNIVERSITY

P. ISSN 1859-4190

E. ISSN 2815-553X



Số 2 (89)

2025

P. ISSN 1859-4190
E. ISSN 2815-553X

■ **Tổng Biên tập**

TS. Đỗ Văn Đình

■ **Phó Tổng biên tập**

TS. Nguyễn Thị Kim Nguyễn

■ **Thư ký Tòa soạn**

PGS.TS. Ngô Hữu Mạnh

■ **Hội đồng Biên tập**

TS. Nguyễn Thị Kim Nguyễn - Chủ tịch Hội đồng

GS.TS. Phạm Thị Ngọc Yến

PGS.TSKH. Trần Hoài Linh

PGS.TS. Nguyễn Văn Liễn

GS.TSKH. Thân Ngọc Hoàn

GS.TSKH. Bành Tiến Long

GS.TS. Nguyễn Đức Toàn

PGS.TS. Lê Thu Quý

GS.TS. Lê Anh Tuấn

GS.TS. Đinh Văn Sơn

PGS.TS. Trương Thị Thủy

PGS.TS. Nguyễn Thị Bất

GS.TS. Đỗ Quang Kháng

PGS.TS. Ngô Sỹ Lương

PGS.TS. Khuất Văn Ninh

GS.TSKH. Phạm Hoàng Hải

PGS.TS. Đoàn Ngọc Hải

PGS.TS. Nguyễn Ngọc Hà

GS.TS. Yu Ming Zhang

GS.TS. Nguyễn Văn Anh

■ **Ban Biên tập**

TS. Vũ Văn Đông - Trưởng ban

ThS. Đoàn Thị Thu Hằng - Phó Trưởng ban

■ **Editor-in-Chief**

Dr. Do Van Dinh

■ **Vice Editor-in-Chief**

Dr. Nguyen Thi Kim Nguyen

■ **Office Secretary**

Assoc.Prof.Dr. Ngo Huu Manh

■ **Editorial Board**

Dr. Nguyen Thi Kim Nguyen - Chairman

Prof.Dr. Pham Thi Ngoc Yen

Assoc.Prof.Dr.Sc. Tran Hoai Linh

Assoc.Prof.Dr. Nguyen Van Lien

Prof.Dr.Sc. Than Ngoc Hoan

Prof.Dr.Sc. Banh Tien Long

Prof.Dr. Nguyen Duc Toan

Assoc.Prof.Dr. Le Thu Quy

Prof.Dr. Le Anh Tuan

Prof.Dr. Dinh Van Son

Assoc.Prof.Dr. Truong Thi Thuy

Assoc.Prof.Dr. Nguyen Thi Bat

Prof.Dr. Do Quang Khang

Assoc.Prof.Dr. Ngo Sy Luong

Assoc.Prof.Dr. Khuat Van Ninh

Prof.Dr.Sc. Pham Hoang Hai

Assoc.Prof.Dr. Doan Ngoc Hai

Assoc.Prof.Dr. Nguyen Ngoc Ha

Prof.Dr. Yu Ming Zhang

Prof.Dr. Nguyen Van Anh

■ **Editorial**

Dr. Vu Van Dong - Head

MSc. Doan Thi Thu Hang - Deputy Head

Địa chỉ Tòa soạn:

Trường Đại học Sao Đỏ.

Số 76, Nguyễn Thị Duệ, Thái Học 2, phường Sao Đỏ, thành phố Chí Linh, tỉnh Hải Dương.

Điện thoại: (0220) 3587213, Fax: (0220) 3882 921, Hotline: 0912 107858/0936 847980.

Website: <http://tapchikhcn.saodo.edu.vn/>Email: tapchikhcn@saodo.edu.vn.

Giấy phép xuất bản số: 620/GP-BTTTT ngày 17/9/2021 của Bộ Thông tin và Truyền thông.

In 2.000 bản, khổ 21 × 29,7cm, tại Công ty TNHH in Tre Xanh, cấp ngày 17/02/2011.

LIÊN NGÀNH ĐIỆN - ĐIỆN TỬ - TỰ ĐỘNG HÓA

- | | | |
|--|----|---|
| Dự báo tình trạng sức khỏe của pin lithium (SOH) dựa trên mô hình hình tự hồi quy phi tuyến tính có đầu vào ngoại sinh | 5 | Phạm Thành Long
Võ Duy Thành
Nguyễn Bảo Huy
Trần Hoài Linh |
| Mô hình trên máy tính bộ biến đổi hòa hợp tải DC-DC | 11 | Phạm Công Tảo
Phạm Thi Hoan |
| Thiết kế thiết bị đo thông số môi trường sử dụng mạch nhúng ARM và truyền thông LoRa để ứng dụng trong nông nghiệp | 19 | Trần Thị Phương Thảo
Đỗ Văn Đình |
| Nghiên cứu động lực học và trạng thái cơ học của sàng rung sử dụng phương pháp phần tử biên | 27 | Nguyễn Thị Phương Oanh
Nguyễn Thị Sim
Vũ Trí Võ |

LIÊN NGÀNH CƠ KHÍ - ĐỘNG LỰC

- | | | |
|--|----|---|
| Nghiên cứu ảnh hưởng của vật liệu đến chất lượng bề mặt khi miết ép dao động | 34 | Nguyễn Văn Hình
Nguyễn Đức Hải
Đào Văn Kiên |
| Nghiên cứu ảnh hưởng của tốc độ chày và góc nghiêng thành khuôn đến chất lượng sản phẩm trong quá trình dập đa điểm phôi tấm | 40 | Trần Hải Đăng
Nguyễn Hữu Chấn
Trần Văn Diện
Nguyễn Thị Thu |
| Nghiên cứu ảnh hưởng số đường may chần bông, khối lượng tấm bông và số lớp bông đến độ co áo jacket | 45 | Nguyễn Thị Hiền
Phạm Thị Kim Phúc
Đỗ Thị Làn
Nguyễn Văn Đoàn |
| Nghiên cứu ảnh hưởng của một số thông số công nghệ cơ bản đến độ co hình thù vi tính trên vải Pe/Co | 51 | Nguyễn Quang Thoại |

NGÀNH KINH TẾ

- | | | |
|--|----|---|
| Giải pháp Marketing nhằm phát triển du lịch nông thôn trên địa bàn tỉnh Hải Dương | 59 | Vũ Thị Hường
Nguyễn Thị Huế
Nguyễn Thị Thủy |
| Giải pháp truyền thông nâng cao hiệu quả công tác tuyển sinh của Trường Đại học Sao Đỏ | 65 | Ngô Thị Luyện
Nguyễn Thị Ngọc Mai |

NGÀNH KINH TẾ

- Kế toán chi phí môi trường và chi phí xã hội tại các doanh nghiệp FDI trên địa bàn tỉnh Hải Dương: Thực trạng và giải pháp 71 Đinh Thị Kim Thiết
- Các nhân tố ảnh hưởng đến sự hài lòng của du khách nội địa đối với hoạt động du lịch lễ hội tỉnh Hải Dương 77 Nguyễn Thị Huệ

NGÀNH HÓA HỌC - THỰC PHẨM

- Nghiên cứu tính chất cấu trúc của các cluster $[Mo_6X_{14}]$ ($X = F, Cl, Br, I$) ở 22 EM và năng lượng ion hóa thứ 2 của các cluster $[Mo_6X_{14}]^{2-}$ bằng phương pháp phiếm hàm mật độ 82 Phạm Thị Diệp

NGÀNH KHOA HỌC GIÁO DỤC

- Sử dụng trích đoạn phim trong việc nâng cao kỹ năng nói tiếng Trung Quốc của học sinh sinh viên trong các cơ sở giáo dục đại học 98 Phạm Thị Hồng Trang
- Nghiên cứu và vận dụng các phương pháp dạy học tích cực trong giảng dạy các học phần tiếng Anh căn bản cho sinh viên Trường Đại học Sao Đỏ 94 Tăng Thị Hồng Minh
Trần Thị Mai Hương
Đặng Thị Thanh

LIÊN NGÀNH TRIẾT HỌC - XÃ HỘI HỌC - CHÍNH TRỊ HỌC

- Giáo dục giá trị đạo đức truyền thống dân tộc cho sinh viên Trường Đại học Sao Đỏ hiện nay 101 Nguyễn Thị Hiền
Trần Thị Hồng Nhung
Nguyễn Mạnh Tường
- Đề xuất giải pháp nâng cao năng lực số cho giảng viên trong bối cảnh chuyển đổi số 107 Nguyễn Thị Nhan
- Vận dụng tư tưởng triết học trong Truyện Kiều của Nguyễn Du vào giảng dạy học phần Triết học Mác - Lênin cho sinh viên Trường Đại học Sao Đỏ 112 Đỗ Thị Thùy
Phạm Xuân Đức
Nguyễn Thị Hải Hà
- Giá trị thời đại của tác phẩm “Nâng cao đạo đức cách mạng, quét sạch chủ nghĩa cá nhân” của Chủ tịch Hồ Chí Minh và sự vận dụng của Đảng ta trong công cuộc đấu tranh chống chủ nghĩa cá nhân, xây dựng Đảng hiện nay 118 Phạm Văn Dự
Vũ Hồng Phong

NGÀNH VĂN HÓA - NGHỆ THUẬT - THỂ DỤC THỂ THAO

- Nghiên cứu, ứng dụng các bài tập bổ trợ nhằm nâng cao hiệu quả thi đấu cho đội bóng chuyền hơi nữ sinh viên Trường Đại học Sao Đỏ 124 Hà Đình Soát
Vũ Tiến Hiếu

TITLE FOR ELECTRICITY - ELECTRONICS - AUTOMATION

- | | | |
|---|----|---|
| Prediction of Lithium battery State of Health (SOH) based on a nonlinear autoregressive exogenous model | 5 | Pham Thanh Long
Vo Duy Thanh
Nguyen Bao Huy
Tran Hoai Linh |
| Computer model of the DC-DC matching converter | 11 | Pham Cong Tao
Pham Thi Hoan |
| Designing environment parameter measurement device for agricultural applications using embedded ARM and LoRa communication technology | 19 | Tran Thi Phuong Thao
Do Van Dinh |
| Dynamic and structural analysis of a vibrating sieve using the boundary element method | 27 | Nguyen Thi Phuong Oanh
Nguyen Thi Sim
Vu Tri Vo |

TITLE FOR MECHANICAL AND DRIVING POWER ENGINEERING

- | | | |
|---|----|---|
| Research on the influence of materials on surface quality in oscillating smoothing process | 34 | Nguyen Van Hinh
Nguyen Duc Hai
Dao Van Kien |
| Effect of punching speed and die wall bevel angle on product quality during incremental sheet forming process | 40 | Tran Hai Dang
Nguyen Huu Chan
Tran Van Dien
Nguyen Thi Thu |
| Research on the influence of number of quilted seams, quilted weight and number of quilted layers on jacket shrinkage | 45 | Nguyen Thi Hien
Pham Thi Kim Phuc
Do Thi Lan
Nguyen Van Doan |
| The influence of some embroidery technology factors on the shrinkage of PE/CO fabric when embroidering on computerized machines | 51 | Nguyen Quang Thoai |

TITLE FOR ECONOMICS

- | | | |
|--|----|---|
| Local Marketing solutions to develop rural tourism in Hai Duong province | 59 | Vu Thi Huong
Nguyen Thi Hue
Nguyen Thi Thuy |
| The communication solutions to enhance the effectiveness of enrollment work at Sao Do University | 65 | Ngo Thi Luyen
Nguyen Thi Ngoc Mai |

TITLE FOR ECONOMICS

- Environmental cost and social cost accounting at FDI enterprises in Hai Duong province: Current situation and solutions 71 Dinh Thi Kim Thiet
- Factors affecting the satisfaction of domestic tourists with the festival tourism activities in Hai Duong province 77 Nguyen Thi Hue

TITLE FOR CHEMISTRY - FOOD

- Study of the structural properties of clusters $[Mo_6X_{14}]$ ($X = F, Cl, Br, I$) at 22 EM and the second ionization energy of clusters $[Mo_6X_{14}]^{2-}$ by the density functional method 82 Pham Thi Diep

TITLE FOR EDUCATION SCIENCE

- Using movie clips to improve the Chinese speaking skills of students in higher education institutions 88 Pham Thi Hong Trang
- Research and application of active teaching methods in teaching basic English course for students at Sao Do University 94 Tang Thi Hong Minh
Tran Thi Mai Huong
Dang Thi Thanh

TITLE FOR PHILOSOPHY - SOCIOLOGY - POLITICAL SCIENCE

- Educating traditional moral values of the nation for students at Sao Do University today 101 Nguyen Thi Hien
Tran Thi Hong Nhung
Nguyen Manh Tuong
- Proposing solutions to improve digital capacity for lecturers in the context of digital transformation 107 Nguyen Thi Nhan
- Research and apply philosophical ideas in Nguyen Du's The Tale of Kieu in teaching the Marxist-Leninist philosophy module for students at Sao Do University 112 Do Thi Thuy
Pham Xuan Duc
Nguyen Thi Hai Ha
- The contemporary value of the work "Improving revolutionary morality, wiping out individualism" by President Ho Chi Minh and its application by our Party in the current struggle against individualism and party building 118 Pham Van Du
Vu Hong Phong

TITLE FOR CULTURE - ALGORITHMS - SPORTS

- Research and application of supplementary exercises to enhance the performance of the female volleyball team of Sao Do University students 124 Ha Dinh Soat
Vu Tien Hieu

Dự báo tình trạng sức khỏe của pin lithium (SOH) dựa trên mô hình tự hồi quy phi tuyến tính có đầu vào ngoại sinh

Prediction of Lithium battery State of Health (SOH) based on a nonlinear autoregressive exogenous model

Phạm Thành Long, Võ Duy Thành, Nguyễn Bảo Huy, Trần Hoài Linh*

Tác giả liên hệ: linh.tranhoai@hust.edu.vn

Đại học Bách khoa Hà Nội

Ngày nhận bài: 22/02/2025

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 30/5/2025

Ngày chấp nhận đăng: 02/6/2025

Abstract

The state of health (SOH) of a battery is a crucial indicator reflecting its current condition, and forecasting SOH is essential in battery management systems to ensure efficient and safe operation. Data-driven forecasting methods have demonstrated higher effectiveness compared to model-based approaches. This paper employs a nonlinear autoregressive model with exogenous inputs (NARX) to predict battery SOH for both single-step and multi-step forecasting. Features extracted during the charging process from the NASA battery dataset are used as inputs for the model. The results indicate that the NARX model improves error values for single-step forecasting. Additionally, the error values in multi-step forecasting also demonstrate high accuracy.

Keywords: *Lithium battery; NARX; battery state of health prediction; deep learning.*

Tóm tắt

Tình trạng sức khỏe của pin (SOH) là một chỉ số quan trọng thể hiện trạng thái hiện tại của pin và việc dự báo được SOH của pin là điều cần thiết trong các hệ thống quản lý pin để đảm bảo pin hoạt động hiệu quả và an toàn. Các phương pháp dự báo dựa trên dữ liệu của pin đang cho thấy sự hiệu quả so với các phương pháp dựa trên mô hình. Bài báo sử dụng mô hình tự hồi quy phi tuyến tính có đầu vào ngoại sinh (NARX) để dự báo SOH của pin trước một chu kỳ và nhiều chu kỳ. Các đặc trưng được trích xuất trong quá trình sạc của pin từ bộ dữ liệu của NASA được dùng làm đầu vào của mô hình. Kết quả thu được cho thấy mô hình NARX có thể cải thiện các giá trị sai số đối với việc dự báo trước một chu kỳ. Các giá trị sai số trong việc dự báo trước nhiều chu kỳ cũng cho thấy độ chính xác cao.

Từ khóa: *Pin Lithium; mô hình NARX; dự báo tình trạng sức khỏe pin; học sâu.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Pin lithium đã được thương mại hóa lần đầu bởi Sony vào năm 1991 và nhanh chóng trở thành tiêu chuẩn trong ngành công nghệ lưu trữ năng lượng. Ngày nay, pin Lithium đang đóng một vai trò quan trọng và là một phần không thể thiếu trong sự phát triển của công nghệ hiện đại. Với đặc điểm nổi bật như mật độ năng lượng cao, tuổi thọ pin dài và khả năng sạc lại, pin Lithium được sử dụng rộng rãi trong các thiết bị điện tử, phương tiện giao thông và các hệ thống lưu trữ năng lượng.

Pin Lithium hoạt động dựa trên cơ chế chuyển đổi ion lithium giữa các điện cực trong quá trình sạc và xả.

Hiệu suất và độ an toàn của pin lithium dựa trên vật liệu cấu thành điện cực, dung dịch điện phân và cấu trúc thiết kế của pin. Các hệ thống pin lithium phổ biến bao gồm lithium-ion (Li-ion) và lithium-polymer (Li-po).

Tuy nhiên, một vấn đề đối với các loại pin lithium là sự lão hóa. Sự lão hóa của pin là nguyên nhân chính gây ra những thay đổi về sức khỏe và tuổi thọ của pin. Khi số chu kỳ sạc xả của pin lithium tăng lên sẽ dẫn đến sự giảm thành phần ion hoạt động của pin, sự phát triển của lớp màng điện phân rắn và sự kết tủa của các chất không hòa tan trong chất điện phân từ đó làm giảm dung lượng và hiệu suất của pin [1].

Trạng thái sức khỏe của pin (SOH) được giới thiệu như một đánh giá thời gian thực về mức độ lão hóa của pin so với pin mới. Nó được định nghĩa là tỷ lệ giữa các thông số hiệu suất hiện tại với các thông số hiệu suất định mức. Bằng cách phân tích trạng thái

Người phản biện: 1. GS.TSKH. Thân Ngọc Hoàn
2. TS. Đỗ Văn Đình

sức khỏe của pin, tình trạng của pin lithium có thể được xác định, từ đó có thể quản lý pin một cách hiệu quả, đảm bảo hoạt động của pin và giảm các nguy hiểm tiềm ẩn khi pin bị lão hóa.

Hai phương pháp dự báo SOH của pin phổ biến trong các nghiên cứu hiện nay là phương pháp dựa trên mô hình và phương pháp dựa trên dữ liệu.

Phương pháp dựa trên mô hình dựa trên phân tích phản ứng bên trong cơ chế của pin và thiết lập một mô hình toán học để mô phỏng hoạt động của pin từ đó dự báo SOH của pin. Tuy nhiên, do sự phức tạp của các phản ứng điện hóa trong pin, rất khó để có thể thiết lập một mô hình vật lý chính xác. Ngày nay, với sự phát triển của công nghệ và các thiết bị đo, việc thu thập các thông tin về các đặc điểm của pin trong quá trình hoạt động như dòng điện, nhiệt độ, điện áp trở nên dễ dàng. Từ đó các phương pháp dựa trên dữ liệu đang ngày càng phát triển và đạt được hiệu suất cao.

Trong những năm gần đây, các phương pháp dựa trên dữ liệu (*DDA - data driven approaches*) đã nổi lên như một xu hướng triển vọng trong dự báo SOH. Không giống như các phương pháp truyền thống dựa vào mô hình vật lý hoặc hóa học, các phương pháp dựa trên dữ liệu không phụ thuộc vào sự hiểu biết phức tạp về các quy trình vật lý trong pin; thay vào đó làm sáng tỏ các mô hình và mối tương quan trong quá trình suy giảm hiệu suất pin bằng cách phân tích dữ liệu được đề xuất nhiều với dữ liệu đo được thu thập từ các hệ thống quản lý pin (*BMS - Battery Management System*) hoặc từ các cảm biến đo các chu kỳ sạc/xả trong thực tế.

Trong bài báo [2], tác giả Xu Li đã giới thiệu một phương pháp khác để dự báo SOH của pin phối hợp ba mô hình CEEMDAN, SG và LSTM cũng cho bộ dữ liệu của NASA. Đầu tiên, các chỉ báo sức khỏe (*HI - Health Index*) được trích xuất bằng cách phân tích các đường cong điện áp và dòng điện, và các HI có tương quan cao hơn với SOH được chọn bằng cách sử dụng hệ số tương quan Pearson. Nhiều trong dữ liệu SOH thực tế của pin có thể ảnh hưởng đến kết quả của mô hình nên nghiên cứu đã đề xuất mô hình giảm nhiễu CEEMDAN và bộ lọc SavitzkyGolay (SG) để làm mượt dữ liệu SOH của pin. Sau đó sử dụng mô hình LSTM và các đặc trưng để dự báo SOH của pin.

Một mô hình dựa trên các công cụ MFE-GRU-TCA được đề xuất bởi Wang trong [3] để cải thiện độ chính xác của dự đoán SOH và RUL của pin lithium-ion. Mô đun MFE được sử dụng để trích xuất các tính năng dữ liệu từ nhiều chu kỳ sạc/xả của pin lithium-ion. Sau đó, mô đun GRU được sử dụng để nắm bắt các phụ thuộc dài hạn trong dữ liệu tuần tự. Mô đun TCA được sử dụng để thể hiện tốt hơn xu hướng suy giảm của chuỗi dung lượng và giảm thiểu ảnh hưởng của hiện

tượng tái tạo dung lượng. Hơn nữa, mô đun TCA tận dụng sự chú ý tích chập theo thời gian để tập trung vào các trạng thái thời gian có liên quan và đưa ra các dự đoán chính xác hơn.

Công trình [4] của Chenye Zou phát triển mạng chú ý chu kỳ sâu *Deep Cycle Attention Network (DCAN)* với cơ chế chú ý để dự báo SOH của pin trong chu kỳ tiếp theo với dữ liệu từ N chu kỳ trong quá khứ. Đầu vào của mô hình là các dữ liệu về điện áp trong quá trình sạc xả và dung lượng pin của các chu kỳ trong quá khứ. Sau đó là 1 lớp embedding layer để chuyển đổi dữ liệu trong N chu kỳ quá khứ thành biểu diễn dày đặc có chiều thấp. Sau đó qua attention layer và output layer để đưa ra giá trị dự đoán.

Trong [5], một mô hình dự đoán lai bằng cách kết hợp đơn vị hồi quy có cổng song hướng (*BiGRU - Bidirectional Gated Recurrent Unit*) và Transformer với cơ chế chú ý nhiều đầu (*MHA - Multi - Head Attention*) đã được sử dụng để dự đoán SOH của pin. Các chỉ số sức khỏe gián tiếp HI được lấy từ dữ liệu về điện áp và nhiệt độ của pin trong chu kỳ sạc xả được đưa vào BiGRU. Việc kết hợp cấu trúc của BiGRU và Transformer, có khả năng cải thiện tốt hơn hiệu suất dự đoán SOH của pin lithium-ion bằng cách tìm hiểu các mối phụ thuộc dài hạn.

Trong [6] mô hình *Gaussian process regression (GPR)* dựa trên việc học chuyển giao để dự đoán SOH của pin lithium-ion đã được giới thiệu để dự đoán SOH trước một bước và nhiều bước thời gian. Một hàm trung bình khác không và một hàm hiệp phương sai hỗn hợp được đề xuất, có thể tìm hiểu các mối phụ thuộc ngắn hạn và dài hạn của sự suy giảm pin, để theo dõi sự biến động do quá trình tái tạo dung lượng gây ra.

Một mô hình BiGRU kết hợp với bộ lọc *Robust Locally Weighted Scatterplot Smoothing (RLOESS)* đã được thử nghiệm và giới thiệu trong [7]. Các thông tin như đường cong sạc dòng không đổi (*CC - Constant current curve*), đường cong voltam nhiệt vi sai (*DTV - Differential Thermal Voltammetry*) và đường cong dung lượng nhiệt vi sai (*DTC - Differential Thermal Capacity*), kết hợp thông tin ghép nối giữa DTV và phân tích dung lượng gia tăng (*ICA - Incremental Capacity Analysis*), được phân tích và được làm mịn với bộ lọc RLOESS để làm đầu vào của mô hình dự đoán. Hơn nữa, để nâng cao hiệu quả và độ chính xác của mô hình dự đoán, thuật toán tối ưu hóa dựa trên cơ chế cạnh tranh ba phần (*TCMPSO - Tripartite Competition Mechanism*) được sử dụng để tối ưu hóa thêm siêu tham số của BiGRU [7].

Tuy nhiên, với thực tế là các bộ số liệu mẫu có số lượng khá hạn chế nên các mô hình phức tạp, với nhiều thông số sẽ có xu hướng học quá khớp, các mô

hình đơn giản sẽ có chất lượng dự báo tốt hơn các mô hình phức tạp. Trong bài báo này, để dự báo SOH của pin lithium, các tác giả sẽ đề xuất một mô hình dự báo chuỗi thời gian dựa trên mô hình ngoại sinh tự hồi quy phi tuyến tính (*NARX - Nonlinear AutoRegressive model with eXogenous inputs*). Mô hình thực hiện dự báo SOH của pin trước 1 chu kỳ và nhiều chu kỳ. Dữ liệu được sử dụng trong bài báo được thu thập từ bộ dữ liệu về chu kỳ sạc xả của pin lithium của NASA [8].

2. BỘ SỐ LIỆU MẪU VÀ CÁC MÔ HÌNH

2.1. Bộ số liệu mẫu

Trong bài báo này, bộ dữ liệu huấn luyện được lấy từ bộ dữ liệu từ một cơ sở thử nghiệm dự báo pin được xây dựng riêng tại Trung tâm Dự báo Xuất sắc Ames của NASA (PCoE) [8]. Dữ liệu lão hóa pin được thu thập sử dụng pin sạc Li-ion 18650 có sẵn trên thị trường. Pin được sạc đầy sau đó xả đến mức điện áp an toàn (2.7 V) hoặc dưới mức an toàn. Lặp đi lặp lại quá trình sạc xả của pin lithium khiến cho pin bị lão hóa và mất dần dung lượng khả dụng theo thời gian. Các thí nghiệm đã dừng lại khi pin đạt đến tiêu chí cuối vòng đời (*EOL - End Of Life*) là giảm 30% dung lượng ban đầu.

Bộ dữ liệu được sử dụng bao gồm 4 pin B0005, B0006, B0007 và B0018. Các thử nghiệm được thực hiện ở nhiệt độ thường (24°C). Sạc được thực hiện ở chế độ dòng điện không đổi (CC) ở mức 1,5 A cho đến khi điện áp pin đạt 4,2 V và sau đó tiếp tục ở chế độ điện áp không đổi (CV) cho đến khi dòng điện sạc giảm xuống còn 20 mA. Xả được thực hiện ở mức dòng điện không đổi (CC) là 2 A cho đến khi điện áp pin giảm xuống lần lượt là 2.7 V, 2.5 V, 2.2 V và 2.5 V cho pin 5, 6, 7 và 18. Số chu kỳ sạc xả của mỗi pin là 168 chu kỳ đối với pin 5, 6, 7 và 132 chu kỳ đối với pin 18.

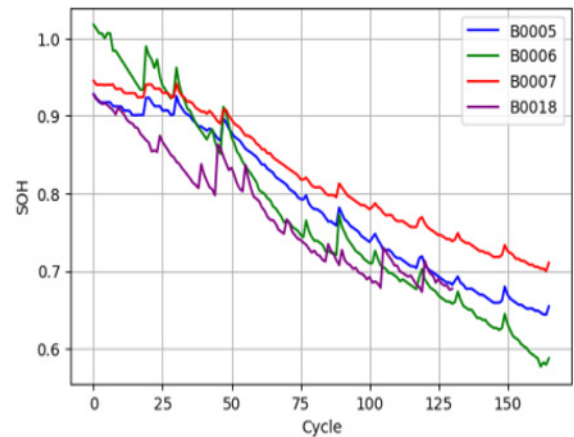
Bảng 1. Một số thông tin về cơ sở dữ liệu mẫu cho tuổi thọ pin sạc của NASA

Pin	Dung lượng	Sạc	Xả	Điện áp cắt
B0005	2 Ah	CC-CV	CC	2.7 V
B0006	2 Ah	CC-CV	CC	2.5 V
B0007	2 Ah	CC-CV	CC	2.3 V
B0018	2 Ah	CC-CV	CC	2.5 V

Các giá trị được đo theo thời gian trong mỗi quá trình sạc xả của pin: Điện áp 2 đầu pin, dòng điện, nhiệt độ pin và dung lượng xả của pin cho đến mức điện áp 2.7 V. SOH được tính toán dựa trên dung lượng của pin tại chu kỳ hiện tại so với dung lượng định mức của pin.

Hình 1 thể hiện tình trạng SOH của pin sau các chu kỳ của bộ dữ liệu. Có thể thấy khi số lượng chu kỳ sạc xả

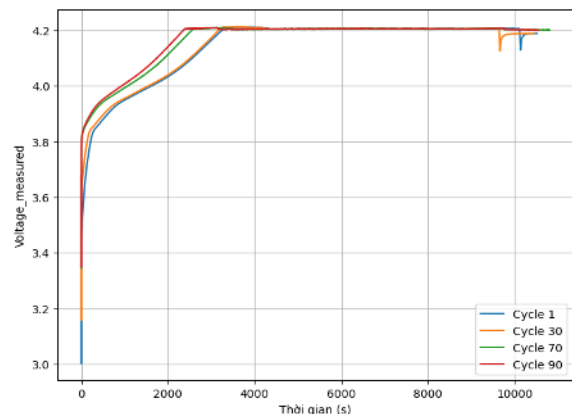
tăng lên, SOH của pin giảm dần. Tuy có một vài biến động do sự phục hồi dung lượng và nhiễu trong quá trình đo đạc nhưng xu hướng chung là giảm dần theo thời gian.



Hình 1. SOH của các pin B0005, B0006, B0007 và B0018

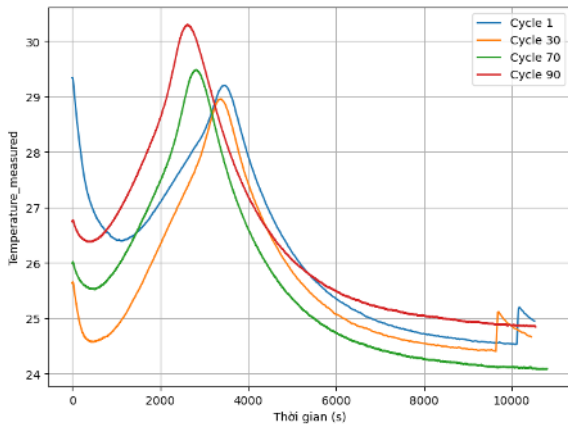
2.2. Trích xuất các đặc trưng

Dữ liệu bao gồm các đặc trưng về điện áp, nhiệt độ và dòng điện của pin theo thời gian của quá trình sạc xả. Tuy nhiên, quá trình xả thường có nhiều biến động và không ổn định do phụ thuộc vào tải. Ngược lại, quá trình sạc được sạc bằng phương pháp CC-CV ổn định và đồng đều hơn. Do đó, các đặc trưng của pin trong quá trình sạc sẽ được sử dụng để làm đầu vào của mô hình.



Hình 2. Điện áp pin B0005 trong quá trình sạc

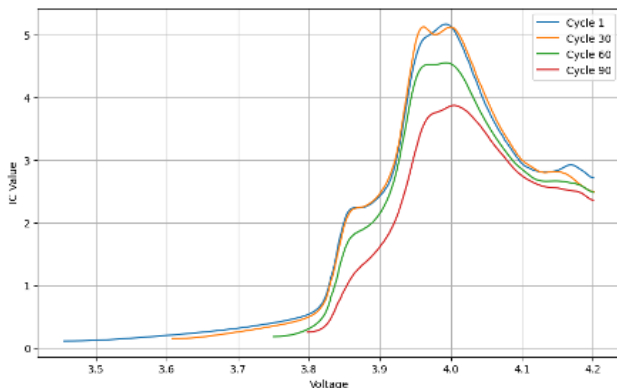
Hình 2 thể hiện sự thay đổi của điện áp pin 5 theo thời gian của từng chu kỳ. Ta có, thể thấy thời gian điện áp đạt 4.2 V giảm dần theo từng chu kỳ. Nguyên nhân là do sự gia tăng của điện trở nội của pin theo khi số chu kỳ tăng lên, làm cho điện áp pin đạt đến 4.2 V nhanh hơn, dẫn đến dung lượng thực tế được nạp vào pin giảm dần theo từng chu kỳ. Do đó thời gian pin đạt đến mức điện áp 4.2 V là một đặc trưng được lựa chọn ký hiệu là F1.



Hình 3. Nhiệt độ pin B0005 trong quá trình sạc

Hình 3 thể hiện sự thay đổi của nhiệt độ pin 5 theo thời gian của từng chu kỳ. Thời gian để pin đạt đến nhiệt độ cao nhất giảm dần theo từng chu kỳ. Do đó, thời gian pin đạt điện áp lớn nhất trong quá trình sạc là đặc trưng tiếp theo được lựa chọn ký hiệu là F2.

Ngoài ra, đường cong công suất gia tăng (IC curve) cũng được trích xuất từ quá trình sạc. Hình 4 cho thấy giá trị đỉnh của đường cong IC giảm dần khi số chu kỳ tăng lên. Giá trị đỉnh của đường cong IC được lựa chọn là đặc trưng F3.



Hình 4. Đường cong IC của pin B005

Sau khi các đặc trưng được lựa chọn, thực hiện chuẩn hóa cho từng đặc trưng để đưa tất cả về cùng một dải giá trị (0,1).

Hệ số tương quan Spearman [9] được tính toán để đánh giá sự tương quan của các đặc trưng đối với giá trị SOH của pin. Từ Bảng 2 ta có thể thấy các đặc trưng có sự tương quan cao đối với giá trị SOH của pin.

Bảng 2. Giá trị Spearman của các đặc trưng đối với giá trị SOH trên tập dữ liệu

Pin	F1	F2	F3
B0005	0.99913	0.99867	0.99436
B0006	0.99975	0.99741	0.98293
B0007	0.99925	0.99877	0.9903
B0018	0.99559	0.99748	0.95209

2.3. Mô hình NARX

Trong mô hình dự báo chuỗi thời gian, mô hình NARX là mô hình tự hồi quy phi tuyến tính có đầu vào ngoại sinh. Điều này có nghĩa là mô hình liên hệ giá trị dự báo của chuỗi thời gian với cả giá trị quá khứ của cùng một chuỗi và giá trị quá khứ của các đầu vào bên ngoài có ảnh hưởng đến chuỗi quan tâm.

Phương trình của mô hình NARX:

$$\hat{y}(t) = f \left(\begin{matrix} y(t-1), \dots, y(t-m), \\ u(t-1), \dots, u(t-n) \end{matrix} \right) \quad (1)$$

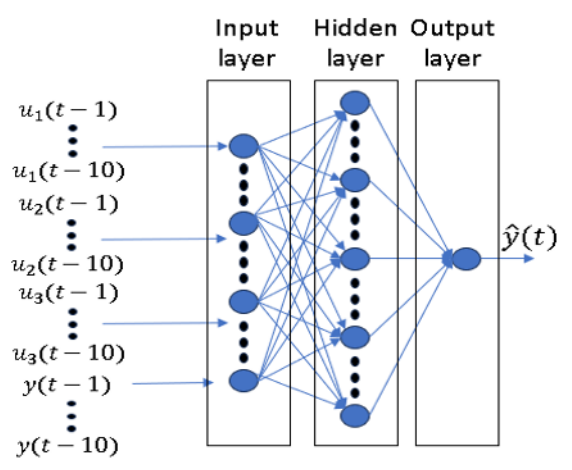
Trong đó:

$\hat{y}(t)$ là giá trị dự báo của mô hình;

$y(t-1), y(t-2), \dots, y(t-m)$ là các giá trị đầu ra trong quá khứ;

$u(t-1), u(t-2), \dots, u(t-n)$ là các giá trị đầu vào ngoại sinh trong quá khứ. Các giá trị của 10 chu kỳ sạc xả trong quá khứ được sử dụng làm đầu vào để dự báo SOH của chu kỳ tiếp theo.

Mô hình NARX có thể được triển khai theo hai cấu trúc riêng biệt: Cấu trúc vòng hở và cấu trúc vòng kín. Trong cấu trúc vòng hở, các dự đoán dựa trên đầu ra trạng thái thực và đầu vào bên ngoài. Ngược lại, trong cấu trúc vòng kín, đầu ra dự đoán của mô hình NARX được phản hồi làm đầu vào cho chu kỳ dự đoán tiếp theo. Bài báo lựa chọn cấu trúc vòng hở để tránh việc cộng dồn sai số sau mỗi lần dự báo 1.



Hình 5. Mô hình NARX dự báo SOH của pin

Mô hình NARX được triển khai dựa trên một mạng neural cơ bản gồm 3 layer:

- Lớp đầu vào (Input layer) là giá trị của các đặc trưng được trích xuất từ 10 chu kỳ trước đó. Trong đó U_1 là đặc trưng thời gian pin đạt đến mức điện áp 4.2V (F1), U_2 là đặc trưng thời gian pin đạt đến nhiệt độ cao nhất (F2), U_3 là đặc trưng về giá trị đỉnh của đường cong IC (F3) và Y là giá trị SOH thực tế của các chu kỳ trong quá khứ.

- Lớp ẩn (Hidden layer): Một lớp ẩn gồm 32 nodes để trích xuất quan hệ phi tuyến của các đầu vào.
- Lớp đầu ra (Output layer): Đầu ra của mô hình, đưa ra giá trị dự báo SOH của pin tại chu kỳ tiếp theo.

3. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN

Ta thực hiện huấn luyện mô hình NARX trên dữ liệu của mỗi pin 80% dữ liệu của mỗi pin được dùng để train, 20% còn lại được dùng để kiểm tra mô hình sau khi huấn luyện. Mô hình sử dụng loss function là Mean Square Error, optimizers là Adam với learning rate là 0,001.

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (y(t) - \hat{y}(t))^2 \quad (2)$$

Trong đó:

N là số lượng mẫu huấn luyện;

$y(t)$ là giá trị thực của SOH của pin tại thời điểm t ;

$\hat{y}(t)$ là giá trị SOH dự báo của pin tại thời điểm t .

Để đánh giá kết quả của mô hình trên tập test, ta sử dụng 3 chỉ số: MAE là giá trị trung bình trên mẫu thử nghiệm về sự khác biệt tuyệt đối giữa dự đoán và quan sát thực tế, MAPE thể hiện sự sai lệch trung bình theo tỷ lệ phần trăm giữa giá trị dự báo và giá trị thực tế và RMSE là sai số bình phương trung bình gốc.

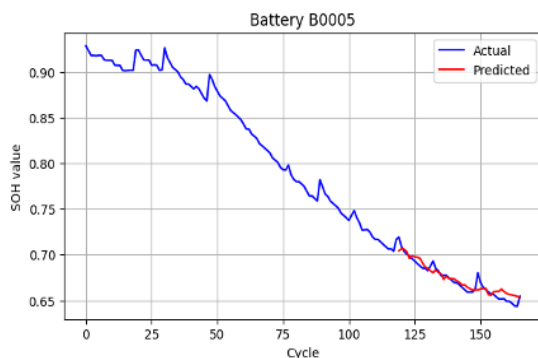
$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N |y(t) - \hat{y}(t)| \quad (3)$$

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \left| \frac{y(t) - \hat{y}(t)}{y(t)} \right| \cdot 100\% \quad (4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (y(t) - \hat{y}(t))^2} \quad (5)$$

3.1. Dự báo trước 1 chu kỳ

Mô hình thực hiện dự báo SOH tại chu kỳ tiếp theo dựa trên dữ liệu của 10 chu kỳ trước đó. Kết quả dự báo trên pin B0005 được thể hiện trong Hình 6. Các kết quả về các chỉ số MAE, MAPE, RMSE của mô hình trên các pin được thể hiện trong bảng 3 và so sánh với kết quả của mô hình CEEMDAN-SG-LSTM [2] (model II).



Hình 6. Kết quả dự báo trên pin B0005

Từ kết quả dự đoán trên tập dữ liệu của NASA được thể hiện trong Hình 6 và Bảng 3, mô hình đã có thể dự báo SOH của chu kỳ tiếp theo của pin với sai số nhỏ.

Bảng 3. Giá trị MAE, MAPE, RMSE trên tập dữ liệu NASA (%)

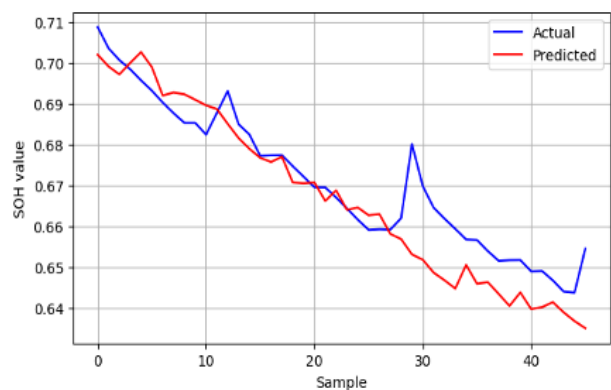
Model	Pin	MAE	MAPE	RMSE
NARX	B0005	0.49	0.73	0.64
II		1.06	1.29	1.29
NARX	B0006	0.84	1.32	1.14
II		1.08	1.28	1.25
NARX	B0007	0.61	0.84	0.73
II		0.85	1.04	0.94
NARX	B0018	0.82	1.18	1.14
II		1.06	1.27	1.27

Kết quả dự báo tốt nhất đạt được trên pin B0005 với các giá trị MAE, MAPE, RMSE lần lượt là 0.49%, 0.73% và 0.64%. Đối với các pin B0006 và B0018, SOH của 2 pin này có nhiều sự phức hồi hơn làm cho việc dự báo SOH của pin có sai số lớn hơn. So sánh các kết quả đạt được với mô hình CEEMDAN-SG-LSTM [2], các giá trị MAE, MAPE, RMSE đều đã được cải thiện trên toàn bộ tập dữ liệu của NASA.

3.2. Dự báo trước nhiều chu kỳ

Mô hình thực hiện dự báo SOH của pin tại các thời điểm xa hơn với mục đích có thể dự báo sớm trạng thái của pin để có phương án quản lý và thay thế phù hợp. Mô hình sử dụng dữ liệu của 10 chu kỳ trong quá khứ ($t-1, \dots, t-10$) và thực hiện dự báo SOH của chu kỳ $t+5$ và $t+10$.

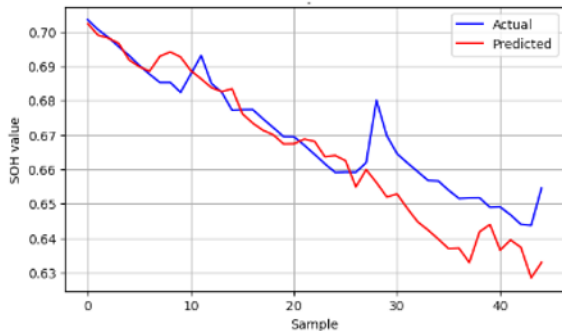
Hình 7 và Hình 8 thể hiện kết quả dự báo trước 5 chu kỳ và 10 chu kỳ trên pin B0005. Sai số dự báo của mỗi pin trong tập dữ liệu được thể hiện ở Bảng 4 và Bảng 5.



Hình 7. Kết quả dự báo trước 5 chu kỳ trên pin B0005

Bảng 4. Giá trị MAE,MAPE, RMSE khi dự báo trước 5 chu kỳ (%)

Pin	MAE	MAPE	RMSE
B0005	0.65	0.97	0.85
B0006	1.75	2.81	2.26
B0007	0.61	0.84	0.83
B0018	1.27	1.8	1.9



Hình 8. Kết quả dự báo trước 5 chu kỳ trên pin B0005

Bảng 5. Giá trị MAE, MAPE, RMSE khi dự báo trước 5 chu kỳ (%)

Pin	MAE	MAPE	RMSE
B0005	0.72	1.09	0.97
B0006	1.3	2.14	1.8
B0007	0.54	0.74	0.73
B0018	1.24	1.76	1.66

Từ kết quả trên, đối với dự báo trước 5 chu kỳ, mô hình có thể đạt được sai số thấp nhất với các giá trị MAE, MAPE, RMSE lần lượt là 0,61%, 0,84%, 0,83%. Đối với dự báo trước 10 chu kỳ thì các giá trị sai số thấp nhất đạt được là 0,54%, 0,74%, 0,73%.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã đề xuất một mô hình dự báo SOH của pin lithium dựa trên mô hình tự hồi quy phi tuyến tính có đầu vào ngoại sinh (NARX). Mô hình được xây dựng bằng một mạng neural nhân tạo gồm 3 lớp bao gồm một lớp đầu vào, một lớp ẩn và một lớp output. Mô hình thực hiện dự báo trước 1 chu kỳ và nhiều chu kỳ. Dữ liệu sạc xả của các pin trong bộ dữ liệu của NASA được sử dụng để trích xuất các đặc trưng liên quan đến thời gian sạc đạt đến 4.2V, thời gian pin đạt nhiệt độ cao nhất và giá trị đỉnh của đường cong công suất gia tăng (đường cong IC). Kết quả thu được cho thấy

các giá trị sai số MAE, MAPE, RMSE của mô hình đã được cải thiện đối với dự báo trước 1 chu kỳ. Với việc dự báo trước nhiều chu kỳ, sai số của mô hình có thể tăng lên tuy nhiên vẫn thu được các kết quả dự báo tốt với sai số nhỏ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Carnovale and X. Li (2020), *A modeling and experimental study of capacity fade for lithium-ion batteries*, Energy and AI, vol. 2, p. 100032.
- [2]. X. Li, H. Yu, J. Wang, Y. Xia, H. Zheng, and H. Song (2024), *Prediction of state-of-health of lithium-ion battery based on ceemdan-sg-lstm combined model*, Materials Today Sustainability, vol. 28, p. 100999.
- [3]. X. Wang, K. Dai, M. Hu and N. Ni (2024), *Lithium-ion battery health state and remaining useful life prediction based on hybrid model mfe-gru-tca*, Journal of Energy Storage, vol. 95, p. 112442.
- [4]. C. Zou, X. Chen and Y. Zhang (2023), *State of health prediction of lithium-ion batteries based on temporal degeneration feature extraction with deep cycle attention network*, Journal of Energy Storage, vol. 65, p. 107367.
- [5]. C. Jia, Y. Tian, Y. Shi, J. Jia, J. Wen, and J. Zeng (2023), *State of health prediction of lithium-ion batteries based on bidirectional gated recurrent unit and transformer*, Energy, vol. 285, p. 129401.
- [6]. L. Cai (2024), *A unified gpr model based on transfer learning for soh prediction of lithium-ion batteries*, Journal of Process Control, vol. 144, p. 103337.
- [7]. Xia, Y. Yu, and J. Chen (2024), *Soh and rul prediction of lithium batteries based on fusions of roess filtered electrochemical and thermal features by bidirectional gated recurrent unit network*, Journal of Energy Storage, vol. 102, p. 114134.
- [8]. Cơ sở dữ liệu mẫu SOH của NASA, <https://github.com/anirudhkhatry/SOH-prediction-using-NASA-Dataset>.
- [9]. Dodge Yadolah (2010), *The Concise Encyclopedia of Statistics*, New York, Springer-Verlag. p. 502.

AUTHORS INFORMATION

Pham Thanh Long, Vo Duy Thanh,
Nguyen Bao Huy, Tran Hoai Linh*

*Corresponding author: linh.tranhoai@hust.edu.vn

Hanoi University of Science and Technology.

THỂ LỆ GỬI BÀI

TẠP CHÍ NGHIÊN CỨU KHOA HỌC, TRƯỜNG ĐẠI HỌC SAO ĐỎ

Tạp chí Nghiên cứu khoa học, Trường Đại học Sao Đỏ (P. ISSN 1859-4190, E. ISSN 2815-553X), thường xuyên công bố kết quả, công trình nghiên cứu khoa học và công nghệ của các nhà khoa học, cán bộ, giảng viên, nghiên cứu sinh, học viên cao học, sinh viên ở trong và ngoài nước.

1. Tạp chí xuất bản 01 số/quý bằng hai ngôn ngữ tiếng Việt và tiếng Anh. Tạp chí nhận đăng các bài báo khoa học thuộc các lĩnh vực: Điện - Điện tử - Tự động hóa; Cơ khí - Động lực; Kinh tế; Triết học - Xã hội học - Chính trị học; Các lĩnh vực khác gồm: Công nghệ thông tin; Hóa học - Công nghệ thực phẩm; Ngôn ngữ học; Toán học; Vật lý; Văn hóa - Nghệ thuật - Thể dục thể thao...
2. Bài nhận đăng là những công trình nghiên cứu khoa học chưa công bố trong bất kỳ ấn phẩm khoa học nào.
3. Tòa soạn chỉ nhận bài báo gửi online trên website <http://tapchikhcn.saodo.edu.vn>. Bài báo gửi về tòa soạn dưới dạng file điện tử (*.doc *.docx và *.pdf); cuối bài báo, tác giả ghi rõ thông tin địa chỉ liên hệ, số điện thoại, email và cập nhật thông tin trên website. Bài báo phải được trình bày đúng định dạng, rõ ràng; Trường hợp bài báo phải chỉnh sửa theo thể lệ hoặc theo yêu cầu của Phản biện thì tác giả sẽ cập nhật trên website. Người phản biện sẽ do tòa soạn mời. Tòa soạn không gửi lại bài nếu không được đăng.
4. Các công trình thuộc đề tài nghiên cứu có Cơ quan quản lý cần kèm theo giấy phép cho công bố của cơ quan (Tên đề tài, mã số, tên chủ nhiệm đề tài, cấp quản lý,...).
5. Tên bài báo trình bày bằng hai ngôn ngữ (tiếng Việt và tiếng Anh), font Arial, cỡ chữ 14, in đậm, căn giữa.
6. Tên tác giả (không ghi học hàm, học vị), font Arial, cỡ chữ 10, in đậm, căn lề phải; cơ quan công tác của các tác giả, font Arial, cỡ chữ 9, in nghiêng, căn lề phải.
7. Chữ "Tóm tắt" in đậm, font Arial, cỡ chữ 10; Nội dung tóm tắt của bài báo không quá 10 dòng, trình bày bằng hai ngôn ngữ (tiếng Việt và tiếng Anh), font Arial, cỡ chữ 10, in thường.
8. Chữ "Từ khóa" in đậm, nghiêng, font Arial, cỡ chữ 10; Có từ 03÷05 từ khóa, font Arial, cỡ chữ 10, in nghiêng, ngăn cách nhau bởi dấu chấm phẩy, cuối cùng là dấu chấm.
9. Nội dung bài báo viết bằng tiếng Việt hoặc tiếng Anh; Nếu là bài báo viết bằng tiếng Việt: Tiêu đề tiếng Việt trước, tiếng Anh sau; Tóm tắt tiếng Việt trước, tiếng Anh sau; Từ khóa tiếng Việt trước, tiếng Anh sau; Nếu là bài báo viết bằng tiếng Anh: Tiêu đề tiếng Anh trước, tiếng Việt sau; Tóm tắt tiếng Anh trước, tiếng Việt sau; Từ khóa tiếng Anh trước, tiếng Việt sau.
10. Bài báo được đánh máy trên khổ giấy A4 (21 × 29,7cm) có độ dài không quá 8 trang, font Arial, cỡ chữ 10, giãn dòng At least 12pt, Before 3pt, After 3pt; căn lề trên 2.5cm, dưới 2.5cm, trái 3cm, phải 2cm; hình vẽ phải rõ ràng, đủ nét và được định dạng dưới dạng file ảnh (*.jpg); Phương trình, công thức phải soạn thảo bằng Mathtype hoặc Equation; Phần nội dung bài báo được chia thành 02 cột, khoảng cách cột là 1cm; Trong trường hợp hình vẽ, hình ảnh có kích thước lớn, bảng biểu có độ rộng lớn hoặc công thức, phương trình dài thì cho phép trình bày dưới dạng 01 cột.
11. Tài liệu tham khảo được sắp xếp theo thứ tự tài liệu được trích dẫn trong bài báo.
 - Nếu là sách/luận án: Tên tác giả (năm), Tên sách/luận án/luận văn, Nhà xuất bản/Trường/Viện, lần xuất bản/tái bản.
 - Nếu là bài báo/báo cáo khoa học: Tên tác giả (năm), Tên bài báo/báo cáo, Tạp chí/Hội nghị/Hội thảo, Tập/Kỷ yếu, số, trang.
 - Nếu là trang web: Phải trích dẫn đầy đủ tên website và đường link, ngày cập nhật.
12. Định dạng mẫu bài báo tham khảo tại địa chỉ http://tapchikhcn.saodo.edu.vn/news/detail/198/format_paper
Bài báo sau khi xuất bản sẽ được công bố trên <http://tapchikhcn.saodo.edu.vn>.

THÔNG TIN LIÊN HỆ:

Ban Biên tập Tạp chí Nghiên cứu khoa học, Trường Đại học Sao Đỏ

Phòng 203, Tầng 2, Nhà B1, Trường Đại học Sao Đỏ.

Địa chỉ: Số 76, Nguyễn Thị Duệ, Thái Học 2, phường Sao Đỏ, thành phố Chí Linh, tỉnh Hải Dương.

Điện thoại: (0220) 3587213, Fax: (0220) 3882921, Hotline: 0912 107858/0936 847980.

Website: <http://tapchikhcn.saodo.edu.vn>

Email: tapchikhcn@saodo.edu.vn



BỘ CÔNG THƯƠNG

TRƯỜNG ĐẠI HỌC SAO ĐỎ

Địa chỉ:

- **Số 1:** Số 76, Nguyễn Thị Duệ, Thái Học 2, phường Sao Đỏ, thành phố Chí Linh, tỉnh Hải Dương.
- **Số 2:** Số 72, đường Nguyễn Thái Học, phường Thái Học, thành phố Chí Linh, tỉnh Hải Dương.
- **Điện thoại:** (0220) 3882 269 **Fax:** (0220) 3882 921 **Website:** <http://saodo.edu.vn> **Email:** info@saodo.edu.vn

P. ISSN 1859-4190
E. ISSN 2815-553X

Số 2 (89)
2025

Địa chỉ Tòa soạn:

Trường Đại học Sao Đỏ.

Số 76, Nguyễn Thị Duệ, Thái Học 2, phường Sao Đỏ, thành phố Chí Linh, tỉnh Hải Dương.

Điện thoại: (0220) 3587213, Fax: (0220) 3882 921, Hotline: 0912 107858/0936 847980.

Website: <http://tapchikhcn.saodo.edu.vn>/Email: tapchikhcn@saodo.edu.vn.

Giấy phép xuất bản số: 620/GP-BTTTT ngày 17/9/2021 của Bộ Thông tin và Truyền thông.
In 2.000 bản, khổ 21 × 29,7cm, tại Công ty TNHH in Tre Xanh, cấp ngày 17/02/2011.