

MỤC LỤC

KHOA HỌC CƠ BẢN, KỸ THUẬT VÀ CÔNG NGHỆ

Công nghệ thông tin

- ♦ **Lưu Bách Hưng, Lâm Sinh Công:** ỨNG DỤNG HỌC SÂU TĂNG CƯỜNG TRONG TỐI ƯU CÔNG SUẤT PHÁT TRONG MẠNG DI ĐỘNG 3
- ♦ **Minh Nhật Vo, Xuan Hung Truong:** EVALUATING LONG-TERM PERFORMANCE OF ML-BASED INTRUSION DETECTION SYSTEMS UNDER TEMPORAL AND STRUCTURAL CHANGES 11
- ♦ **Trần Huy Long, Hoàng Trọng Minh:** NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG HỌC MÁY NHỎ TINYML CHO NÔNG NGHIỆP VÀ SẢN XUẤT CÔNG NGHIỆP 22
- ♦ **Phạm Thị Chiêm, Phạm Tuấn Minh:** ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP HỌC TẬP CHỦ ĐỘNG KẾT HỢP CÔNG NGHỆ HỖ TRỢ NHẪM NÂNG CAO HIỆU QUẢ HỌC TẬP CHO SINH VIÊN ĐẠI HỌC NGÀNH KỸ THUẬT TẠI VIỆT NAM 32

Điện - Điện tử - Tự động hóa

- ♦ **Nguyễn Thế Hồng, Phạm Trung Dũng:** NGHIÊN CỨU TỐI ƯU HÓA CÁC THAM SỐ BỘ ĐIỀU KHIỂN PID TRONG HỆ TRUYỀN ĐỘNG ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU TRÊN CƠ SỞ ỨNG DỤNG THUẬT TOÁN DI TRUYỀN TỰ THÍCH NGHI 40
- ♦ **Nguyễn Thị Diệu Linh, Trần Ngọc Đức:** XÂY DỰNG BỘ ĐIỀU KHIỂN QUADROTOR TREO TẢI VỚI CHIỀU DÀI DÂY CÁP THAY ĐỔI 50

Cơ khí - Động lực

- ♦ **Dinh-Quan Doan, Huu-Chuyen Vu:** EFFECT OF VIBRATION AMPLITUDE ON MECHANICAL RESPONSE IN MACHINING OF NiCrFe ALLOY 57
- ♦ **Cảnh Chí Huân, Nguyễn Tiến Hán, Lê Văn Quỳnh, Tô Ngọc Thiện:** TỐI ƯU THÔNG SỐ THIẾT KẾ HỆ THỐNG ĐỆM CÁCH DAO ĐỘNG CABIN MÁY XÚC LẬT 68

ỨNG DỤNG HỌC SÂU TĂNG CƯỜNG TRONG TỐI ƯU CÔNG SUẤT PHÁT TRONG MẠNG DI ĐỘNG

Lưu Bách Hưng¹, Lâm Sinh Công^{1*}

¹ Khoa Điện tử - Viễn thông,

Trường Đại học Công nghệ - Đại học Quốc gia Hà Nội

*Email: conglis@vnu.edu.vn

TÓM TẮT

Sự phát triển nhanh chóng của Internet vạn vật (IoT) đã thúc đẩy xu hướng dày đặc hóa cơ sở hạ tầng mạng, trong đó mạng siêu dày đặc (UDN) trở thành công nghệ then chốt cho 5G. Bài báo này nghiên cứu bài toán tối ưu hóa tài nguyên động nhằm cân bằng hiệu quả năng lượng (EE) và hiệu quả phổ (SE) trong môi trường 5G UDN. Do tính chất động của lưu lượng người dùng, chúng tôi đề xuất mô hình trọng số thích nghi để chuyển đổi bài toán tối ưu đa mục tiêu thành quá trình quyết định Markov (MDP). Để giải quyết vấn đề bùng nổ không gian trạng thái-hành động trong UDN, thuật toán Dueling Deep Q-Network (Dueling DQN) được áp dụng kết hợp với cơ chế truyền thông hợp tác sử dụng kỹ thuật Maximum Ratio Combining (MRC). Cơ chế này xác định 50% người dùng có chất lượng kênh thấp nhất và gán hai SgNB tốt nhất để phục vụ đồng thời, giúp tăng tỷ số tín hiệu trên nhiễu (SNR) cho người dùng yếu. Kết quả mô phỏng với 10 SgNBs và 6 người dùng cho thấy phương pháp đề xuất tiết kiệm công suất 32.5% tại mức tải cao so với phương pháp không hợp tác, đồng thời đảm bảo yêu cầu chất lượng dịch vụ (QoS) cho toàn bộ người dùng.

Từ khóa: Deep Q Network; Mạng di động 5G siêu dày đặc; hiệu quả năng lượng; hiệu suất phổ

ABSTRACT

The rapid development of the Internet of Things (IoT) has driven the trend of densifying network infrastructure, in which ultra-dense networks (UDN) become a key technology for 5G. This paper studies the dynamic resource optimization problem to balance energy efficiency (EE) and spectral efficiency (SE) in the 5G UDN environment. Due to the dynamic nature of user traffic, we propose an adaptive weighting model to transform the multi-objective optimization problem into a Markov decision process (MDP). To address the state-action space explosion issue in UDN, the Dueling Deep Q-Network (Dueling DQN) algorithm is applied in combination with a cooperative communication mechanism using Maximum Ratio Combining (MRC) technique. This mechanism identifies the 50% of users with the lowest channel quality and assigns the two best SgNBs to serve them simultaneously, helping to increase the signal-to-noise ratio (SNR) for weak users. Simulation results with 10 SgNBs and 6 users show that the proposed method saves 32.5% power at high load compared to the non-cooperative method, while ensuring quality of service (QoS) requirements for all users.

Keywords: Deep Q Network; 5G Ultra Dense Networks; Energy Efficiency; Spectrum Efficiency

Ngày nhận bài: 03/12/2025; Ngày sửa bài: 15/12/2025; Ngày duyệt đăng: 20/12/2025

♦ Tạ Việt Cường, Nguyễn Đức Minh, Trương Công Giang, Trần Ngọc Tiến: NGHIÊN CỨU LỰA CHỌN ROBOT HÀN HỒ QUANG SỬ DỤNG PHƯƠNG PHÁP TRỌNG SỐ ENTROPY 75

KHOA HỌC KINH TẾ VÀ XÃ HỘI

Kinh tế

♦ Lê Thanh Huyền: CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG TỚI TÂM LÝ HÀNH VI CỦA NHÀ ĐẦU TƯ TRÊN THỊ TRƯỜNG CHỨNG KHOÁN VIỆT NAM 82

♦ Ngô Văn Quang, Hà Khánh Vân: PHÁT TRIỂN NỀN KINH TẾ TRÍ TUỆ TẠI VIỆT NAM: KINH NGHIỆM QUỐC TẾ VÀ KHUYẾN NGHỊ CHÍNH SÁCH 90

♦ Lê Hải Hà: CHÍNH SÁCH QUẢN LÝ AGENT ECONOMY TRONG THỜI ĐẠI SỐ: BÀI HỌC KINH NGHIỆM CHO VIỆT NAM 102

Du lịch

♦ Tin Doan, Nguyen Duc Thang: STRATEGIES TO REDUCE UNETHICAL CONSUMPTION BEHAVIOURS AMONG TOURISTS FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT: INSIGHTS FROM TOUR GUIDES 115

♦ Nguyễn Thị Thu Trang, Nguyễn Thị Lan Hương: ĐẦU TƯ VÀ TÀI TRỢ CHO VĂN HÓA Ở HÀN QUỐC: KINH NGHIỆM VÀ GỢI MỞ CHO VIỆT NAM 129

♦ Lê Chí Công, Trương Thị Thu Lành: GIẢI THÍCH Ý ĐỊNH DU LỊCH CÓ TRÁCH NHIỆM CỦA DU KHÁCH TRÊN VỊNH BIỂN NHA TRANG 137

1. MỞ ĐẦU

Trong những năm gần đây, với sự phát triển nhanh chóng của Internet di động và công nghệ Internet vạn vật (IoT), nhu cầu về dịch vụ truyền thông di động cũng tăng trưởng nhanh chóng. Các dịch vụ mới nổi như video siêu nét 4K, thực tế ảo, thực tế tăng cường và lái xe tự động đặt ra yêu cầu cao hơn về hiệu suất mạng 5G. Nhu cầu truyền thông của các thiết bị thông minh và môi trường IoT quy mô lớn thúc đẩy sự dày đặc hóa cơ sở hạ tầng mạng. Mạng siêu dày đặc (UDN) đã xuất hiện đúng thời điểm và sẽ trở thành công nghệ then chốt trong mạng 5G [1]. Trong kiến trúc UDN, bán kính cell sẽ được thu nhỏ hơn nữa, dẫn đến tăng nhiều giữa các cell [2-3]. Hơn nữa, do đặc điểm không đồng nhất của thiết bị người dùng trong không gian và thời gian, việc quản lý tài nguyên của UDN trở nên khó khăn hơn. Do đó, cách phân bổ tài nguyên thích ứng trong UDN là vấn đề đáng được nghiên cứu sâu.

Các chính sách phân bổ tài nguyên trong UDN ảnh hưởng đến hiệu suất mạng và trải nghiệm người dùng. Nhiều công trình đã nghiên cứu có hệ thống về phân bổ tài nguyên trong các kịch bản mạng không đồng nhất (HetNet) và UDN từ các góc độ khác nhau. Trong [4], việc tối đa hóa tổng tốc độ của người dùng tế bào con trong hệ thống NOMA được nghiên cứu. Việc tối ưu hóa hiệu quả năng lượng trong mạng tế bào con dày đặc được nghiên cứu trong [5]. Sự cân bằng giữa hiệu quả năng lượng và hiệu quả phổ được xem xét và đánh giá. Tuy nhiên, các nghiên cứu này chỉ xem xét hiệu suất mạng và yêu cầu người dùng ở trạng thái cố định. Khi môi trường mạng thay đổi, yêu cầu hiệu suất của hệ thống cũng có thể thay đổi. Do đó, phân bổ tài nguyên mạng cần xem xét sự tương tác với môi trường.

Học tăng cường (RL) không cần mô hình có thể được áp dụng để giải quyết bài toán tối ưu hóa ngẫu nhiên trong mạng không dây. Trong môi trường không xác

định, RL sẽ thu được chính sách tối ưu thông qua tương tác với môi trường [6], [7]. Q-learning là một trong những thuật toán RL phổ biến nhất. Tuy nhiên, do sự bùng nổ không gian trạng thái hành động trong các bài toán thực tế, Q-learning hội tụ chậm và khó tìm được hành động tối ưu để giải quyết bài toán. Deep Q Network (DQN) là thuật toán học tăng cường sâu (DRL) mới, có thể kết hợp quá trình RL với một loại mạng nơ-ron gọi là mạng nơ-ron sâu để xấp xỉ hàm giá trị trạng thái-hành động. Do đó, các hạn chế của Q-learning được giải quyết trong DQN. Trong [8], [9], DQN được áp dụng để tối ưu hóa chiến lược BẬT/TẮT của các trạm gốc nhỏ nhằm nâng cao EE trong khi đáp ứng yêu cầu QoS. Trong hệ thống thông tin di động thực tế, có nhiều người dùng có kênh truyền rất thấp như bị che khuất hoặc nằm ranh giới giữa các trạm. Khi đó, việc tăng công suất nên có thể tăng nhiều giữa các trạm, kéo theo hiệu năng của những người dùng này không tăng, hoặc thậm chí giảm. Do đó, việc triển khai kỹ thuật truyền thông hợp tác trong mạng di động được coi là giải pháp phù hợp để nâng cao chất lượng dịch vụ của người dùng [10].

Bài báo đề xuất cơ chế truyền thông hợp tác sử dụng kỹ thuật Maximum Ratio Combining (MRC) để hỗ trợ người dùng có kênh yếu. Cụ thể, hệ thống xác định 50% người dùng có độ lợi kênh trung bình thấp nhất làm Người dung yếu thông qua việc sắp xếp độ lợi kênh trung bình từ tất cả SGNB. Với mỗi người dung yếu, hai SGNB có độ lợi kênh tốt nhất được chọn để đồng thời phục vụ người dung yếu. Kỹ thuật MRC kết hợp tín hiệu từ các SGNB hợp tác, cho phép tăng tín hiệu SNR tổng hợp của người dung yếu. Hàm thưởng được bổ sung điểm thưởng cho kỹ thuật hợp tác dựa trên tỷ lệ phủ sóng người dung yếu và hệ số giảm công suất lý thuyết với bonus tối đa khoảng 15%. Kết quả mô phỏng cho thấy phương pháp Dueling DQN kết hợp truyền thông hợp tác đạt hiệu suất tiêu thụ

công suất thấp hơn đáng kể so với phương pháp không hợp tác.

2. MÔ HÌNH HỆ THỐNG

Nghiên cứu xây dựng kịch bản mạng di động không dây trong đó, N trạm con SgNB được phân bố đều trong không gian. Trong đó, vị trí của mỗi trạm là tâm của hình lục giác. Bên cạnh các trạm con, 1 trạm lớn MgNB được triển khai để quản lý tất cả các trạm SgNB. Trong kịch bản này, trạm MgNB được tích hợp 1 tác tử học máy để trách nhiệm thu thập thông tin từ các trạm SgNB, xử lý và đưa ra các quyết định về công suất cũng như phân bổ tài nguyên cho các người dung. Các quyết định này được chuyển về các trạm SgNB để thực thi. Mỗi trạm phục vụ M người dùng, trong đó người dùng phân bổ ngẫu nhiên trong vùng phục vụ của trạm đó. Trong mô hình này, người dùng sẽ kết nối trực tiếp với các trạm SgNB mà không kết nối trực tiếp tới MgNB.

Trong mạng truyền thông di động, người dung thường truyền tin một cách rời rạc theo khe thời gian. Do đó, bài báo mô hình hóa quá trình đến và đi của người dùng trong mỗi mạng như hai quá trình ngẫu nhiên độc lập [4]. Trong mỗi khe thời gian, UE đến mỗi tế bào con theo phân phối Poisson với tham số λ_i . Do đó, xác suất có x SUE mới đến tế bào con trong khoảng thời gian τ là:

$$P(x) = \frac{(\lambda_i \tau)^x}{x!} e^{-(\lambda_i \tau)} \quad (1)$$

Tương tự, SUE rời khỏi tế bào con cũng theo phân phối Poisson với tham số μ_i . Do đó, xác suất có y SUE rời khỏi tế bào con trong khoảng thời gian τ là:

$$P(y) = \frac{(\mu_i \tau)^y}{y!} e^{-(\mu_i \tau)} \quad (2)$$

Trong công trình này, chúng tôi giả định rằng việc kết nối SUE với tế bào con được hoàn thành trước khi phân bổ tài nguyên. Sau đó, chúng tôi có thể định nghĩa tập các thiết bị người dùng được kết nối với SgNB n trong khe thời gian t là $U_n(t) = 1, 2, \dots, s_n(t), \dots, S_n(t)$.

Để nâng cao hiệu năng sử dụng phổ, các trạm SgNB được phép tái sử dụng tần số với hệ số tỉ lệ 1. Khi số lượng người dùng đủ lớn và số lượng tài nguyên vô tuyến hữu hạn thì SgNB phải sử dụng tất cả băng tần con để cấp cho người dùng của nó. Bên cạnh đó, kỹ thuật truyền tin không trực giao (NOMA) được áp dụng, cho phép 1 trạm SgNB sử dụng 1 sóng mang con để đồng thời cấp cho nhiều người dùng. Người dùng lúc này được phân biệt với nhau thông qua công suất phát. Do việc sử dụng chung băng tần con, các người dùng có thể gây nhiễu cho nhau. Như vậy, trong kịch bản xấu nhất, tín hiệu đường lên của mỗi người dùng sẽ chịu nhiễu từ tất cả người dùng sử dụng chung băng tần con, trong đó có bao gồm cả người dùng ở trạm lân cận và người dùng trong cùng trạm đó. Giả sử trạm SgNB cấp băng tần con cho người dùng của nó và người dùng này được phép truyền tín hiệu với công suất p_i . Khi đó, tỷ số tín hiệu trên nhiễu cộng tạp âm (SINR) của người dùng n thuộc trạm con SgNBm trên sóng mang con này được cho bởi:

$$\gamma_{s_n}(t) = \frac{p_n g_n^m}{\sum_{i=1, i \neq n}^M x_i^m(t) p_i g_i^m(t) + \sum_{i=2}^N \sum_{i=1}^M x_n^i(t) p_i g_i^i(t) + \sigma^2}$$

trong đó g_n^m là độ lợi kênh từ SgNBn đến SUE_{s_n} trong trạm SgNBm, p_n là công suất được gán bởi SgNB n cho mỗi SUE, σ là phương sai của nhiễu Gauss trắng cộng (AWGN).

Bên cạnh đó, để đảm bảo hiệu năng của người dùng có kênh truyền yếu kỹ thuật truyền thông hợp tác được sử dụng. Với việc sử dụng kỹ thuật này, người dùng có kênh truyền yếu có thể được kết nối đồng thời với 2 trạm có tín hiệu SgNB mạnh nhất. Tại trạm MgNB, kỹ thuật Maximum Ratio Combining (MRC) được sử dụng phép tổng hợp tín hiệu của người dung yếu. Khi đó, tín hiệu đường lên của người dùng được tính như sau:

$$h_{combined} = \sqrt{\sum_i^K |h_i|^2}$$

trong đó h_i là độ lợi kênh từ SgNB thứ

i ; K là số trạm hợp tác phục vụ người dùng thứ i .

Theo biểu thức SINR của SUE s_n , tổng thông lượng đường lên trong tế bào con thứ n có thể được tính theo công thức Shannon: $R_n(t) = \sum_{s_n=1}^{S_n} R_{s_n}(t) = \sum_{s_n=1}^{S_n} B_m \log_2[1 + \gamma_{s_n}(t)]$ (4)

và tổng thông lượng của toàn bộ hệ thống là:

$$R(t) = \sum_{n=1}^N R_n(t) = \sum_{n=1}^N \sum_{s_n=1}^{S_n} B_m \log_2[1 + \gamma_{s_n}(t)]$$
 (5)

Trong bài báo này, hiệu quả năng lượng (EE) của hệ thống mạng 5G siêu dày đặc được định nghĩa là tỷ số giữa tổng thông lượng và công suất tiêu thụ của toàn bộ hệ thống. Trong khe thời gian t , EE có thể được biểu diễn như:

$$\eta_E^{(t)} = R(t) / (p_M + \sum_{n=1}^N \sum_{s_n=1}^{S_n} p_n + p_C)$$
 (6)

trong đó và lần lượt là công suất của MgNB và công suất tiêu thụ được tạo ra bởi tất cả các truyền dẫn mạch.

Hiệu quả phổ (SE) của hệ thống mạng 5G siêu dày đặc được định nghĩa là tỷ số giữa tổng thông lượng và băng thông của toàn bộ hệ thống, trong khe thời gian t được cho bởi:

$$\eta_S^{(t)} = R(t) / \sum_{m=1}^M B_m$$
 (7)

Tối đa hóa SE của hệ thống tương đương với tối đa hóa các tài nguyên khả dụng cho hệ thống. Việc tối đa hóa tài nguyên khả dụng sẽ làm tăng công suất tiêu thụ của hệ thống, có thể dẫn đến giảm EE của hệ thống. Ngược lại, tối đa hóa EE có thể dẫn đến giảm SE. Do đó, không thể đáp ứng yêu cầu hiệu suất hệ thống chỉ bằng cách xem xét tối đa hóa SE hoặc EE. Cần phải xem xét sự đánh đổi giữa SE và EE. Giải quyết sự đánh đổi giữa SE và EE là một bài toán tối ưu đa mục tiêu.

Tuy nhiên, trong các giai đoạn cao điểm và thấp điểm, người dùng có yêu cầu khác nhau về SE và EE trong hệ thống. Do đó, chúng tôi sử dụng phương pháp tổng trọng số động để chuyển đổi MOOP của sự đánh đổi giữa SE và EE thành SOOP. Trọng số

động được đưa ra theo yêu cầu của người dùng về SE và EE. Càng nhiều người dùng, tỷ lệ SE càng lớn. Số lượng người dùng càng nhỏ, EE càng trở nên quan trọng. Do đó, trọng số giữa SE và EE trong khe thời gian t có thể được biểu diễn như:

$$\xi(t) = \frac{\sum_{n=1}^N U_n(t)}{M \times N}$$
 (8)

Khi đó sự đánh đổi giữa SE và EE có thể được định nghĩa như:

$$\max_x \sum_{t=1}^T \eta(t) = \sum_{t=1}^T \left[(1 - \xi(t)) \eta_E^{(t)} + \xi(t) \eta_S^{(t)} \right]$$
 (9)

với các ràng buộc:

(a) $R_{s_n}(t) \geq R_0$ đảm bảo QoS của SUE;

(b) $\sum_{m=1}^M x_n^m(t) = S_n(t)$;

(c) $\sum_{s=1}^S S_n(t) \leq S_{max}$

Hàm mục tiêu:

Hàm mục tiêu $\max \sum_{t=1}^T \eta(t)$

$$\sum_{t=1}^T \left[(1 - \xi(t)) \eta_{EE}^{(t)} + \xi(t) \eta_{SE}^{(t)} \right]$$

nhằm tối đa hóa tổng hiệu suất của hệ thống qua tất cả các khe thời gian từ $t=1$ đến T . Hiệu suất tổng hợp $\eta(t)$ tại mỗi thời điểm là tổ hợp tuyến tính có trọng số của hiệu quả năng lượng (EE) và hiệu quả phổ (SE). Hệ số trọng số $\xi(t)$ thay đổi động theo số lượng người dùng trong hệ thống: khi có nhiều người dùng, $\xi(t)$ tăng lên ưu tiên SE để đáp ứng nhu cầu băng thông; khi ít người dùng, $\xi(t)$ giảm xuống ưu tiên EE để tiết kiệm năng lượng. Cách tiếp cận trọng số động này chuyển đổi bài toán tối ưu đa mục tiêu (MOOP) thành bài toán tối ưu đơn mục tiêu (SOOP), giúp đơn giản hóa việc giải quyết trong khi vẫn cân bằng được hai mục tiêu quan trọng của hệ thống mạng.

Ràng buộc (a): $R_{s_n}(t) \geq R_0$ Ràng buộc này đảm bảo chất lượng dịch vụ (QoS) cho mỗi người dùng SUE trong hệ thống. Cụ thể, tốc độ dữ liệu $R_{s_n}(t)$ của người dùng s_n tại thời điểm t phải lớn hơn hoặc bằng ngưỡng tối thiểu R_0 (ví dụ 1 Mbps).

Ràng buộc (b): $\sum_{m=1}^M x_n^m(t) = S_n(t)$ ràng buộc này quy định rằng tổng số khối tài nguyên (RB) được phân bổ cho tế bào con

n phải bằng chính xác số lượng người dùng $S_n(t)$ đang hoạt động trong cell đó tại thời điểm t .

Ràng buộc (c): $\sum_{s=1}^S s_n(t) \leq S_{max}$ ràng buộc này giới hạn tổng số người dùng mà mỗi tế bào con có thể phục vụ đồng thời không vượt quá giá trị tối đa S_{max} . Khi số người dùng đến vượt quá S_{max} , hệ thống phải từ chối kết nối mới hoặc chuyển giao (handover) sang cell lân cận. Ràng buộc này đảm bảo hệ thống hoạt động trong vùng ổn định, tránh quá tải gây suy giảm chất lượng dịch vụ cho tất cả người dùng.

3. MÔ TẢ THUẬT TOÁN

Trong bài báo này, ngoài EE, SE cũng được xem xét toàn diện, vì vậy bài toán phân bổ tài nguyên trở thành bài toán NP-hard, và khó thu được nghiệm tối ưu. Khi đưa ra quyết định cho mỗi khe MgNB, nó chỉ phân bổ tài nguyên cho SUE mới vào khe đó. Sẽ không có phân bổ lại cho SUE đã được phân bổ. Để cân bằng EE và SE của hệ thống, bài toán phân bổ tài nguyên trong kịch bản 5G UDN có thể được biểu diễn như MDP. Bài báo này áp dụng phương pháp học tăng cường sâu để giải quyết bài toán này.

3.1. Mô hình cơ bản của học tăng cường

Học tăng cường coi việc học như một quá trình đánh giá heuristic. Agent chọn một hành động cho môi trường. Trạng thái thay đổi sau khi môi trường chấp nhận hành động. Đồng thời, một phần thưởng được tạo ra cho Agent. Agent chọn hành động tiếp theo theo thưởng và trạng thái hiện tại của môi trường. Nguyên tắc lựa chọn là tăng xác suất thưởng, để thu được chiến lược tối ưu. Do đó, môi trường, trạng thái và thưởng là ba yếu tố then chốt trong học tăng cường. Đối với hệ thống được xem xét trong bài báo này, chúng tôi định nghĩa không gian trạng thái, không gian hành động và thưởng trong khe thời gian t dựa trên khung học tăng cường:

- Không gian trạng thái: Các quyết định được đưa ra bởi agent MgNB.

Agent cần biết trạng thái của mỗi tế bào con để xác định hành động. Do đó, trạng thái của agent trong khe thời gian t là: $s_t = s_1(t), R_1(t), \dots, s_n(t), R_n(t), x(t)$. Điều này có nghĩa là agent sẽ biết số lượng và thông lượng của tất cả các tế bào con và việc phân bổ tất cả RB trong hệ thống.

- Không gian hành động: Agent quyết định những RB nào được tái sử dụng bởi tế bào con. Vì vậy hành động là: $a_t = x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)$. Không gian hành động tăng theo cấp số nhân với sự tăng của SgNB. Sự bùng nổ không gian hành động sẽ là một vấn đề quan trọng và khó khăn cần xử lý.

- Hàm thưởng: Khi agent MgNB thực hiện hành động a bằng cách quan sát trạng thái s_t , nó sẽ nhận được thưởng tức thì r_t . Mục tiêu của chúng tôi là tối đa hóa $\sum_{t=1}^T \eta(t)$, vì vậy hàm thưởng là $\eta(t)$ tại thời điểm t :

$$r_t = \eta(t) = (1 - \xi(t)) \eta_E^{(t)} + \xi(t) \eta_S^{(t)}$$
 (11)

3.2. Chiến lược Deep Q Network

Tại mỗi thời điểm t , agent MgNB xác định hành động $a_t = \pi(s_t)$ thông qua chính sách π theo trạng thái hiện tại s_t . Tức là, MgNB được thưởng bằng cách phân bổ các khối tài nguyên khả dụng cho SgNB. Trong học tăng cường, lợi nhuận kỳ vọng được định nghĩa bởi hàm giá trị trạng thái-hành động $Q^\pi(s_t, a_t)$, có thể được biểu diễn như:

$$Q^\pi(s_t, a_t) = E_\pi[\sum_{t=1}^T \gamma^t \eta(s = s_t, a = a_t)]$$
 (12)

trong đó γ là hệ số chiết khấu. Mục tiêu là làm cho lợi nhuận tương lai ít liên quan hơn đến hiện tại. Mục tiêu của MDP là tìm một chiến lược tối ưu, tức là chiến lược nhận được nhiều thưởng nhất. Điều này có nghĩa là đối với tất cả các hành động được chọn bởi chiến lược tối ưu $\pi^*(s_t) = \operatorname{argmax}_Q(s_{t+1}, a_{t+1})$, $a_t = \pi^*(s_t)$ sẽ tối đa hóa hàm giá trị trạng thái-hành động.

Khi không gian rất lớn, rất khó tìm chiến lược tối ưu bằng cách tra cứu bảng Q-value trong Q-learning. Trong DQN, mạng nơ-ron sâu (DNN) có thể được sử dụng để xấp xỉ chiến lược tối ưu và hàm giá trị tối ưu: $Q^*(s_t, a_t; \theta) \approx Q(s_t, a_t)$, trong đó θ là tham

số của mạng nơ-ron.

Để đảm bảo tính ổn định của $Q * (s_t, a_t; \theta)$ mỗi bước cần huấn luyện mạng nơ-ron được đánh giá để tối thiểu hóa hàm mất mát $L(\theta)$:

$$L(\theta) = E \left[\left(\eta(t) + \gamma \max Q(s_{t+1}, a_{t+1}; \theta^-) - Q * (s_t, a_t; \theta) \right)^2 \right] \quad (13)$$

trong đó θ^- là tham số của target network, và θ là tham số của behavior network.

3.3. Chiến lược Dueling Deep Q Network

Trong nhiều trạng thái, kích thước hàm giá trị của RB được gán cho các người dùng khác nhau là khác nhau. Tuy nhiên, trong một số trạng thái, các chính sách phân bổ khác nhau có thể dẫn đến các hàm giá trị giống hệt nhau. Theo [1], Dueling DQN là thuật toán cải tiến dựa trên DQN, sử dụng cấu trúc mô hình để biểu diễn hàm giá trị ở dạng chi tiết hơn. Để mô hình có thể có hiệu suất tốt hơn. Đặc biệt, hàm giá trị trạng thái-hành động được phân tách thành hàm giá trị dựa trên trạng thái và hàm lợi thế: $Q * (s_t, a_t; \theta, \mu, \omega) = V(s_t; \theta, \mu) + A(s_t, a_t; \theta, \omega)$ (14)

trong đó μ , ω và θ lần lượt đại diện cho các tham số của luồng giá trị trạng thái, luồng lợi thế hành động và các phần còn lại của mô hình. Tuy nhiên, trong thực tế, luồng lợi thế của hành động thường được đặt là giá trị của hàm lợi thế của từng hành động trừ đi giá trị trung bình của tất cả các hàm lợi thế của hành động trong một trạng thái nhất định. Do đó, hàm lợi thế thực sự được biểu diễn như:

$$A(s_t, a_t; \theta, \omega) = A(s_t, a_t; \theta, \omega) - (1/|A|) \sum_{a'} A(s_t, a'; \theta, \omega)$$

Phép toán của (15) không chỉ đảm bảo rằng hàm trội của mỗi hành động trong trạng thái này không thay đổi, mà còn giảm phạm vi của Q-value và loại bỏ bậc tự do dư thừa, cải thiện tính ổn định.

Thuật toán 1: Phân bổ tài nguyên động dựa trên Dueling DQN với truyền thông hợp tác

Đầu ra: Chuỗi hành động tối ưu $x_n^m(t)$, tổng trọng số $\Sigma \eta(t)$ của EE và SE

1: Khởi tạo replay buffer D với dung lượng N

2: Khởi tạo mạng giá trị trạng thái-hành động $Q * (s_t, a_t; \theta)$ với trọng số θ

3: Khởi tạo target network $Q * (s_t, a_t; \theta^-)$ với trọng số θ^-

4: for episode = 1 : K do

5: Khởi tạo môi trường hệ thống 5G UDN, MgNB nhận trạng thái ban đầu s_1

6: Xác định weak users dựa trên chất lượng kênh (50% thấp nhất)

7: for t = 1 : T do

8: MgNB chọn hành động a_t tại trạng thái s_t sử dụng ϵ -greedy từ $a_t = \max Q * (s_t, a_t, \theta)$

9: if coop_mode then

10: Gán 2 SGNB tốt nhất cho mỗi weak user

11: Áp dụng MRC: $h_{combined} = \sqrt{(\Sigma |h_i|^2)}$

12: end if

13: MgNB thực hiện hành động a_t để phân bổ các RB đã chọn cho SUE

14: Tính thưởng tức thì r_t dựa trên (11) (bao gồm cooperative bonus)

15: MgNB nhận trạng thái hệ thống tại thời điểm tiếp theo s_{t+1}

16: MgNB lưu kinh nghiệm s_t, a_t, r_t, s_{t+1} vào replay buffer D

17: if dung lượng của D đã đạt N then

18: MgNB chọn ngẫu nhiên một batch mẫu s_j, a_j, r_j, s_{j+1} từ D

19: MgNB tính hai luồng mạng: $V(s_t, \theta, \mu)$ và $A(s_t, a_t, \theta, \omega)$

20: Kết hợp thành $Q * (s_t, a_t; \theta, \mu, \omega)$ dựa trên (14)

21: if s_{j+1} là s_T then $y_j = r_j$

22: else $y_j = r_j + \gamma \max$

$$Q * (s_{j+1}, a'_{j+1}; \theta^-, \mu^-, \omega^-)$$

$$L(\theta, \mu, \omega) = E \left[\left(y_j - Q * (s_t, a_t; \theta) \right)^2 \right]$$

24: thông qua gradient descent dựa trên (13)

25: MgNB hoàn thành cập nhật tham số target network $\theta^- = \theta$ mỗi C bước

26: end if

27: end for

28: end for

4. ĐÁNH GIÁ HIỆU SUẤT

Trong phần này, chúng tôi đánh giá Dueling DQN để giải quyết bài toán phân bổ tài nguyên động. Kết quả mô phỏng cho thấy so với thuật toán không sử dụng truyền thông hợp tác, phương pháp Dueling DQN với truyền thông hợp tác được cải thiện.

4.1. Môi trường mô phỏng

Chúng tôi xem xét một MgNB, một mạng siêu dày đặc của các SgNB. Trong mô phỏng, mỗi người dùng chỉ có thể chiếm một RB. Trong Dueling DQN, để tránh hội tụ của mục tiêu tối ưu về cực tiểu cục bộ, chiến lược ϵ -greedy thích ứng được sử dụng. Các tham số mô phỏng được sử dụng được hiển thị trong Bảng 1.

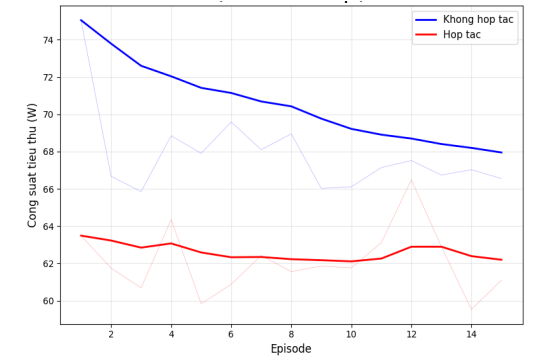
Bảng 1. Tham số mô phỏng

Tham số mô phỏng	Giá trị
Tổng băng thông hệ thống	10 MHz
Số lượng SGNB (N)	10
Số lượng người dùng (K)	5
Công suất SGNB hoạt động ()	6.8 W
Công suất SGNB ngủ ()	4.3 W
Công suất phát tối đa ()	1.0 W
Hiệu suất bộ khuếch đại công suất (η)	0.25
Tốc độ học (learning rate)	0.001
Hệ số chiết khấu (γ)	0.99
Kích thước replay memory D	100000
Ngưỡng phân loại người dùng	50%

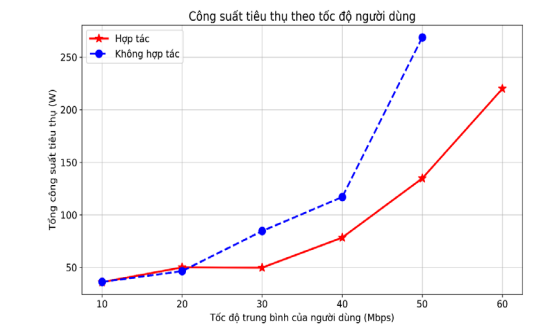
4.2. Kết quả mô phỏng và thảo luận

Hình 1 minh họa quá trình học của thuật toán Dueling DQN trong kịch bản nhu cầu trung bình (20–30 Mbps) với 10 SGNBs và 6 người dùng. Trục hoành biểu diễn số episode, trục tung là công suất tiêu thụ trung bình (W). Đường xanh đậm (không hợp tác) cho thấy công suất ban đầu cao (~75 W) và giảm dần theo episode, sau đó hội tụ tương đối nhanh từ khoảng episode 8–10, ổn định quanh mức 68–69 W. Các đường xanh nhạt phía sau thể hiện giá trị

thô trước khi smoothing, phản ánh dao động do quá trình exploration của agent trong giai đoạn đầu học. Ngược lại, đường đỏ đậm (hợp tác) luôn duy trì ở mức thấp hơn, dao động quanh 62–63 W, với biên độ biến thiên nhỏ hơn so với trường hợp không hợp tác. Các đường đỏ nhạt cho thấy agent thử nghiệm các chiến lược hợp tác khác nhau (bật/tắt SGNB phối hợp), nhưng nhìn chung quá trình học ổn định hơn và hội tụ sớm. Khoảng chênh lệch công suất giữa hai cơ chế vào cuối quá trình học vào khoảng 5–6 W, tương đương 8–9%, cho thấy trong điều kiện tải trung bình, cơ chế hợp tác MRC kết hợp Dueling DQN vẫn mang lại lợi ích tiết kiệm năng lượng rõ rệt so với phương pháp không hợp tác.



Hình 1: Công suất tiêu thụ trong quá trình huấn luyện



Hình 2: Công suất tiêu thụ theo tốc độ người dùng

Hình 2 minh họa mối quan hệ giữa công suất tiêu thụ và nhu cầu người dùng trung bình cho hai phương pháp: Dueling DQN với truyền thông hợp tác (đường đỏ) và Dueling DQN không hợp tác (đường xanh).

Ở mức nhu cầu thấp (10-40 Mbps), cả hai phương pháp có công suất tiêu thụ tương đương (~67-69W) do agent tối ưu hóa bằng cách tắt các SGNB không cần thiết. Khi nhu cầu tăng lên 50 Mbps, sự khác biệt bắt đầu rõ rệt: phương pháp hợp tác chỉ tiêu thụ 73.8W so với 101.2W của phương pháp không hợp tác, tiết kiệm 27.1% công suất. Ưu điểm vượt trội của cơ chế hợp tác thể hiện ở hai khía cạnh: (1) Tiết kiệm năng lượng đáng kể tại mức tải cao nhờ kỹ thuật MRC kết hợp tín hiệu từ 2 SGNB tốt nhất, giúp tăng SNR tổng hợp mà không cần tăng công suất phát; (2) Mở rộng khả năng phục vụ - phương pháp hợp tác có thể đáp ứng nhu cầu lên đến 60 Mbps với 79.5W, trong khi phương pháp không hợp tác chỉ đạt tối đa 50 Mbps và không thể tìm được giải pháp khả thi cho nhu cầu cao hơn do thiếu tài nguyên hỗ trợ người dùng yếu.

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã đề xuất phương pháp tối ưu hóa tài nguyên động cho mạng 5G UDN dựa trên thuật toán Dueling Deep Q-Network kết hợp cơ chế truyền thông hợp tác sử dụng kỹ thuật Maximum Ratio Combining (MRC). Phương pháp mô hình hóa bài toán cân bằng EE-SE như quá trình quyết định Markov với hàm mục tiêu trọng số thích nghi. Cơ chế MRC tự động nhận diện 50% người dùng yếu và phân bổ hai SGNB tốt nhất để phục vụ đồng thời, cải thiện SNR tổng hợp mà không tăng công suất phát. Kết quả mô phỏng với 10 SGNBs và 6 người dùng cho thấy hai ưu điểm vượt trội: (1) Tiết kiệm năng lượng - tại mức tải 50 Mbps, phương pháp hợp tác tiêu thụ 73.8W so với 101.2W của phương pháp không hợp tác, giảm 27.1% công suất; (2) Mở rộng khả năng phục vụ - phương pháp hợp tác có thể đáp ứng nhu cầu lên đến 60 Mbps trong khi phương pháp không hợp tác chỉ đạt tối đa 50 Mbps do không đủ tài nguyên cho người dùng yếu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] M. Kamel, W. Hamouda, and A. Youssef, "Ultra-Dense Networks: A

Survey," IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 18, no. 4, pp. 2522-2545, 2016.

[2] A. Gupta and R. K. Jha, "A Survey of 5G Network: Architecture and Emerging Technologies," IEEE Access, vol. 3, pp. 1206-1232, 2015.

[3] Y. Teng, M. Liu, F. R. Yu, V. C. M. Leung, M. Song, and Y. Zhang, "Resource Allocation for Ultra-Dense Networks: A Survey," IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 21, no. 4, pp. 2134-2168, 2019.

[4] Y. Cai, P. Cheng, Z. Chen, M. Ding, B. Vucetic, and Y. Li, "Deep Reinforcement Learning for Online Resource Allocation in Network Slicing," IEEE Trans. Mobile Computing, vol. 23, no. 6, pp. 7099-7116, 2024.

[5] M. Khani, S. Jamali, and M. K. Sohrabi, "Resource Allocation in 5G Cloud-RAN Using Deep Reinforcement Learning: A Review," Trans. Emerging Telecom. Tech., vol. 35, no. 1, e4929, 2024.

[6] V. Mnih et al., "Human-Level Control Through Deep Reinforcement Learning," Nature, vol. 518, no. 7540, pp. 529-533, 2015.

[7] Z. Wang, T. Schaul, M. Hessel, H. Van Hasselt, M. Lanctot, and N. De Freitas, "Dueling Network Architectures for Deep Reinforcement Learning," in Proc. ICML, pp. 1995-2003, 2016.

[8] Z. Liu, X. Chen, Y. Chen, and Z. Li, "Deep Reinforcement Learning Based Dynamic Resource Allocation in 5G Ultra-Dense Networks," in Proc. IEEE SmartIoT, pp. 168-174, 2019.

[9] H. Li, H. Gao, T. Lv, and Y. Lu, "Deep Q-Learning Based Dynamic Resource Allocation for Self-Powered Ultra-Dense Networks," in Proc. IEEE ICC Workshops, pp. 1-6, 2018.

[10] A. Nosratinia, T. E. Hunter, and A. Hedayat, "Cooperative Communication in Wireless Networks," IEEE Communications Magazine, vol. 42, no. 10, pp. 74-80, 2004.

EVALUATING LONG-TERM PERFORMANCE OF ML-BASED INTRUSION DETECTION SYSTEMS UNDER TEMPORAL AND STRUCTURAL CHANGES

Minh Nhat Vo¹, Xuan Hung Truong²

¹Department of Information Security Academy of Cryptography Techniques Ho Chi Minh, Vietnam

Email: vonhat010@gmail.com

²Academy of Cryptography Techniques Hanoi, Vietnam

Email: hungtx.ncs@actvn.edu.vn

ABSTRACT

While Machine Learning (ML) has advanced Intrusion Detection Systems (IDS), validating its long-term reliability remains a challenge. Standard protocols, which typically test models on held-out attack patterns, often neglect the temporal drift inherent in live networks. To address this limitation, we introduce an evaluation framework that enforces a chronological separation between training and testing datasets, thereby simulating realistic structural changes in traffic. Our study implemented six prevalent models (including DT, RF, SVM, ANN, and DNN) using benchmark datasets such as CIC-IDS2017 and CSE-CIC-IDS2018. Contrary to expectations based on training metrics, results indicate that complex tree-based models (DT, RF) suffer significantly from overfitting when facing temporal shifts. In contrast, SVM and ANN exhibited greater stability. Data from LUFlow further confirms that minimizing the structural divergence between time-stamped datasets is key to maintaining model robustness.

Keywords: Detection System (IDS); Machine Learning (ML); Network Security; CIC-IDS2017; CSE-CIC-IDS2018; LUFlow Dataset

TÓM TẮT

Trong khi Học máy (Machine Learning – ML) đã thúc đẩy sự phát triển của các Hệ thống phát hiện xâm nhập (Intrusion Detection Systems – IDS), việc kiểm chứng độ tin cậy lâu dài của chúng vẫn là một thách thức. Các giao thức tiêu chuẩn, vốn thường đánh giá mô hình trên các mẫu tấn công được giữ lại, thường bỏ qua hiện tượng trôi dạt theo thời gian vốn có trong các mạng hoạt động thực tế. Để khắc phục hạn chế này, chúng tôi đề xuất một khuôn khổ đánh giá áp dụng sự tách biệt theo trình tự thời gian giữa dữ liệu huấn luyện và dữ liệu kiểm thử, qua đó mô phỏng các thay đổi cấu trúc thực tế của lưu lượng mạng. Nghiên cứu triển khai sáu mô hình phổ biến (bao gồm DT, RF, SVM, ANN và DNN) trên các bộ dữ liệu chuẩn như CIC-IDS2017 và CSE-CIC-IDS2018. Trái với kỳ vọng dựa trên các chỉ số huấn luyện, kết quả cho thấy các mô hình dựa trên cây phức tạp (DT, RF) bị quá khớp nghiêm trọng khi đối mặt với sự dịch chuyển theo thời gian. Ngược lại, SVM và ANN thể hiện tính ổn định cao hơn. Dữ liệu từ LUFlow tiếp tục khẳng định rằng việc giảm thiểu sự khác biệt cấu trúc giữa các tập dữ liệu có gắn mốc thời gian là yếu tố then chốt để duy trì độ bền vững của mô hình.

Từ khóa: Hệ thống phát hiện xâm nhập; Học máy; An ninh mạng; CIC-IDS2017; CSE-CIC-IDS2018; Bộ dữ liệu LUFlow

Ngày nhận bài: 03/11/2025; Ngày sửa bài: 15/12/2025; Ngày duyệt đăng: 20/12/2025

1. INTRODUCTION

Cybersecurity has become increasingly critical as the frequency and sophistication of cyberattacks continue to grow, targeting vital infrastructures such as Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) systems, power grids, hospital. To defend against such threats, organizations deploy various protective measures, among which Intrusion Detection Systems (IDS) play a central role. IDS can be categorized as either Network-based IDS (NIDS) or Host-based IDS (HIDS), and they operate by matching known attack signatures or by identifying anomalous behaviors. While signature-based IDS provides high accuracy for known threats, it cannot detect novel attacks. In contrast, anomaly-based IDS is more flexible and capable of identifying new threats, but it often suffers from high false-positive rates.

In recent years, Machine Learning (ML) has been widely applied to IDS to enhance detection capabilities. By learning traffic patterns, ML-based IDS can identify both known and previously unseen attacks, including zero-day threats. Algorithms such as Support Vector Machines (SVM) and Artificial Neural Networks (ANN) have shown promising results in this context. Despite these advancements, most IDS evaluation studies rely on a single dataset for both training and testing. This practice, while convenient, does not reflect realistic network conditions where traffic patterns and attack strategies evolve over time.

To address the limitations of traditional evaluation methods, this study proposes a temporal-based evaluation framework. The main contributions of this paper are summarized as follows:

- We propose a chronological evaluation methodology where training and testing data are strictly separated by time to simulate realistic concept drift, moving beyond standard random k-fold cross-

validation.

- We provide a scientific justification for feature selection based on Gini Impurity (Random Forest), demonstrating its superiority in preserving feature interpretability compared to transformation-based methods like PCA.

- We conduct a comprehensive empirical analysis of six ML/DL models, identifying that while tree-based models (DT, RF) excel in static environments, SVM and ANN exhibit superior robustness against temporal shifts in network traffic

II. LITERATURE REVIEW

Intrusion Detection Systems (IDS) have evolved from traditional signature-based approaches, which are effective for known threats but fail against novel attacks, to anomaly-based techniques that can identify new behaviors but often suffer from high false positives. With the advancement of machine learning (ML), models such as Decision Trees, Random Forests, Support Vector Machines (SVM), and Artificial Neural Networks (ANN) have been widely applied to improve detection accuracy. Several studies using benchmark datasets like KDD99, CIC-IDS2017, and CSE-CIC-IDS2018 have reported high detection rates, particularly with SVM and ANN models [15] [16]. More recently, deep learning (DL) methods, including Convolutional Neural Networks (CNN) and Recurrent Neural Networks (RNN), have shown the ability to extract hierarchical features from raw traffic data, improving scalability and robustness in intrusion detection. Hybrid approaches that integrate ML/DL models with statistical or rule-based methods have also been proposed to balance accuracy and interpretability.

Despite these advances, most evaluations still rely on training and testing within a single dataset. This practice often leads to overfitting and does not reflect real-world scenarios where network conditions and attack strategies evolve

over time. Recent research highlights the importance of cross-dataset evaluation and temporal analysis, underscoring the need for methodologies that can assess the long-term effectiveness of IDS in dynamic environments.

III. THEORETICAL BACKGROUND

A. Dataset

Datasets for IDS are almost always very difficult to find as organizations rarely share them publicly, making the search quite challenging. In this study, we utilized the CIC-IDS2017, CIC-IDS2018, and LUFlow datasets, which are among the few publicly available and widely accepted benchmarks in the intrusion detection community. These datasets provide diverse and realistic network traffic scenarios, enabling a comprehensive evaluation of the proposed machine learning models.

CIC-IDS2017 dataset [1] is a comprehensive benchmark for evaluating Intrusion Detection Systems (IDS) and Intrusion Prevention Systems (IPS). It includes up-to-date benign traffic and diverse common attack types such as Brute Force, DoS, DDoS, Heartbleed, and infiltration, captured over five days with realistic user behavior simulation. The dataset meets 11 key criteria for reliability, including complete network configuration, labeled flows, multiple protocols, and detailed metadata. CIC-IDS2017 enables robust evaluation of machine learning models for intrusion detection and is publicly available for research purposes.

CSE-CIC-IDS2018 dataset [2] [3] is a realistic cyber defense dataset created through collaboration between the Communications Security Establishment (CSE) and the Canadian Institute for Cybersecurity (CIC). It contains network traffic data collected from a victim organization with 5 departments, 420 PCs, and 30 servers, alongside an attacking infrastructure of 50 machines. The dataset includes seven attack scenarios:

Brute-force, Heartbleed, Botnet, DoS, DDoS, Web attacks, and internal network infiltration. Network traffic and system log files were captured, from which 80 network traffic features were extracted using CICFlowMeter-V3. This dataset simulates diverse and realistic network conditions with detailed intrusion profiles, making it valuable for research and development of intrusion detection systems and cybersecurity analytics.

LUFlow dataset [4], developed by Lancaster University in 2020, is a flow-based dataset designed for intrusion detection research. It consists of real-world network traffic captured via honeypots deployed in Lancaster University's public network space. This dataset labels network flows as benign, malicious, or outlier, with outliers representing suspicious traffic that cannot be definitively classified as attacks. The real-world nature of the dataset allows it to reflect emerging threats, but it lacks detailed attack type labels due to the inherent uncertainty of intent in live network data. LUFlow contains 16 features per flow and includes telemetry correlated with external cyber threat intelligence to provide a reliable ground truth for malicious behavior.

B. Machine Learning Models

Machine learning (ML) techniques have demonstrated considerable success in data prediction and classification across various research areas. Within intrusion detection systems (IDS), ML methods are commonly used to distinguish between normal and malicious network traffic. This section provides a brief overview of some of the most commonly utilized ML algorithms in the IDS field. [5] [6]

Decision Tree (DT) [7] classifier organizes data classification using a tree structure composed of nodes and leaves. Nodes represent decision conditions, while leaves indicate the classification results. During training, the tree is built iteratively

by selecting features to split the data at each node, aiming to create homogeneous groups. Feature selection relies on metrics such as Gini impurity or Entropy to evaluate split quality. Features near the root node contribute more to the classification outcome. In testing, each sample travels from the root through the tree according to node conditions until reaching a leaf, which determines its class label.

Random Forest (RF) [8] is an ensemble learning method in artificial intelligence that combines multiple decision trees. Each tree is trained on a bootstrapped dataset, which is created by randomly sampling with replacement from the original training data. This process ensures that each tree differs slightly from the others. When making predictions, each tree votes on the class, and the class with the most votes becomes the final prediction. By leveraging multiple trees, Random Forest reduces overfitting and is more robust to noise, while maintaining the simplicity and interpretability of individual decision trees.

Support Vector Machine (SVM) [9] is a supervised machine learning model used primarily for classification tasks. The main goal of SVM is to find a hyperplane that best separates data points of different classes with the maximum margin. In cases where data cannot be linearly separated, SVM uses kernel functions to map data into higher-dimensional spaces to achieve separability. Despite being computationally intensive, SVM is favored for its effectiveness and lower tendency to overfit compared to other models.

Naïve Bayes (NB) [10] is a simple probabilistic classifier based on Bayes' theorem. It calculates the probability of a data instance belonging to each class under the assumption that all features are conditionally independent. During training, the model estimates these probabilities, which are then used to classify new data. Due to its straightforward

probability calculations, Naïve Bayes is computationally efficient. Although the independence assumption is often unrealistic, this method can still achieve competitive accuracy compared to more complex models.

Artificial Neural Network (ANN) [11] [12] are computational models inspired by the structure and function of the human brain. They consist of layers of interconnected nodes called neurons. Data passes from the input layer through one or more hidden layers to the output layer, with each neuron applying a weighted sum of inputs followed by a nonlinear activation function. The model learns by optimizing these weights and biases during training to minimize prediction errors. ANNs can capture complex patterns in raw data without requiring manual feature engineering. However, training them can be computationally intensive and typically requires large datasets. Due to their ability to learn hierarchical representations, ANNs have become essential in various AI applications such as image and speech recognition.

Deep Neural Network (DNN) [13] [14] are multilayer artificial neural networks, typically consisting of two or more hidden layers. Since their successful training by Hinton et al. in 2006, DNNs have gained significant traction, especially in intrusion detection systems (IDS). Compared to single hidden layer networks, DNNs can learn more complex patterns due to their depth, yet they require more computational resources and larger datasets for effective training. The increased number of layers enables DNNs to capture hierarchical features, improving performance in diverse applications.

IV. RESEARCH DESIGN

The experimental workflow of this research include five phase. First, the datasets underwent preprocessing, including data cleaning and preparation.

Second, feature selection was applied to improve the efficiency of the models. The third step, involved hyperparameter optimization to accuracy. Then, cross-validation was performed to validate the models. Finally, the trained models were evaluated on the testing dataset using multiple performance metrics.

In this study, the experiments were conducted twice, each employing a distinct pair of datasets. The first pair included CIC-IDS2017 and CSE-CIC-IDS2018, both developed by the Canadian Institute for Cybersecurity (CIC). Since these datasets were produced by the same organization, their feature sets match. In the experiments, CIC-IDS2017 was used for model training, while CSE-CIC-IDS2018 served as the test set.

A. Data pre-processing

The first step in the experiment involved preprocessing the dataset. This included cleaning by removing unwanted records such as those with missing or infinite values and eliminating duplicates to provide unique samples for model training. Ensuring the dataset is balanced between normal and abnormal network traffic is critical to prevent bias during training. To address class imbalance, the majority classes were downsampled randomly, and minor classes were merged to create balanced categories. Additionally, both training and testing datasets were aligned to have identical columns in the same order and were relabeled if necessary to maintain consistent class labels.

B. Feature Selection

This rephrasing keeps the original meaning while avoiding direct copying. Feature selection is key to improving IDS performance by enhancing accuracy and efficiency. With around 80 features in CIC-IDS2017, training without selection is slow and may include noisy, less useful features. As Aksu et al. noted, using over 40 features often lowers accuracy.

Feature selection was conducted using the Random Forest (RF) algorithm, which evaluates feature importance based on Information Theoretic principles, specifically Gini Impurity. Unlike Principal Component Analysis (PCA), which transforms features into a new lower-dimensional space and results in a loss of interpretability, the RF-based method preserves the original network attributes (e.g., Destination Port, Flow Duration). This is crucial for cybersecurity analysts to identify specific attack vectors. The importance of a feature j

is calculated by averaging the decrease in node impurity across all trees in the forest:

$$I(j) = \frac{1}{N_T} \sum_{t=1}^{N_T} \sum_{s \in S_t: v(s)=j} \Delta i(s, t) \quad (1)$$

where N_T is the number of trees, $v(s)$ is the variable used at split s , and Δi is the impurity decrease. This approach allows us to scientifically identify the most relevant features without losing semantic meaning.

We used scikit-learn's Random Forest Classifier to train a random forest on the training data, selecting the top n features by importance. This method is common, as shown by prior studies. After initial reduction, we further narrowed features using brute force, adding features incrementally to build models and track accuracy. Based on this, a concise feature set was chosen, with some removed manually. Features like source IP, though correlated, were excluded to avoid overfitting and improve model generalizability.

C. ML Training

After selecting features, we trained the models using the training dataset. We optimized the model hyperparameters with grid search, using scikit-learn's GridSearchCV, which tests different hyperparameter combinations to find the best accuracy. For example, in a deep neural network (DNN), the number of

hidden layers is a hyperparameter, while weights and biases are model parameters. Because tuning requires multiple trainings, only part of the data was used. While modern heuristic optimization algorithms (such as Genetic Algorithms or PSO) are efficient for vast search spaces, they provide approximate solutions. In this study, we employed Grid Search over a carefully defined bounded space to ensure reproducibility and guarantee finding the global optimum within the specified parameters.

To ensure reproducibility and identify the global optimum, the Grid Search explored the following hyperparameter spaces based on standard practices and preliminary tests:

- SVM: We examined the penalty parameter $C \in \{0.1, 1, 10, 100\}$ and kernel functions $\in \{\text{'linear'}, \text{'rbf'}, \text{'sigmoid'}\}$. The result indicated that a higher C value (100) with the RBF kernel yielded the best generalization.

- Random Forest (RF) & Decision Tree (DT): We varied the splitting criteria $\in \{\text{'gini'}, \text{'entropy'}\}$, maximum depth $\in \{10, 20, \text{None}\}$, and for RF specifically, the number of estimators $\in \{50, 100, 200\}$.

- ANN & DNN: The search included variations in activation functions $\in \{\text{'relu'}, \text{'tanh'}, \text{'logistic'}\}$ and solvers $\in \{\text{'adam'}, \text{'sgd'}\}$. For the architecture, we tested neuron configurations ranging from 1 hidden layer (30 to 50 neurons) for ANN, to 3 – 4 hidden layers (e.g., structures like [64, 32, 16] or uniform layers) for DNN.

- Naïve Bayes (NB): We tuned the portion of the largest variance of all features that is added to variances for calculation stability (var_smooth) within the range $\{10^{-9}, 10^{-8}, 10^{-7}\}$.

The final optimal parameters presented in the experimental setup were selected based on the highest validation accuracy derived from these combinations.

For the Deep Learning models (ANN and DNN), we designed a specific architecture

to balance complexity and performance. The configuration is as follows:

ANN: A Multi-Layer Perceptron (MLP) with one hidden layer containing 50 neurons.

DNN: A deep architecture with three hidden layers consisting of [64, 32, 16] neurons, respectively.

Optimization: Both models utilize the Adam optimizer (learning rate $\alpha = 0.001$) and ReLU activation functions for all hidden layers to mitigate the vanishing gradient problem. Dropout regularization (rate = 0.2) was applied to prevent overfitting.

We implemented decision tree (DT), random forest (RF), support vector machine (SVM), naïve Bayes (NB), artificial neural network (ANN), and deep neural network (DNN).

- The DT used cost complexity pruning (ccp_alpha) to avoid overfitting by cutting less important branches.

- The RF tuned tree depth, minimum samples for leaf and split, splitting criteria (Gini or entropy), and number of trees.

- The SVM used different kernels (linear, Gaussian RBF, sigmoid) defined as:

$$K(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) = (\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) \quad (2)$$

$$K(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) = \exp(-\gamma \|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j\|^2 + C) \quad (3)$$

$$K(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) = \tanh(\gamma(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) + r) \quad (4)$$

where $\gamma, C, r, \gamma, C, r$ are parameters optimized during training.

- NB tuned the Gaussian smoothing parameter (var_smooth).

- ANN, built with MLPClassifier, tuned hidden layers, neurons, activation functions (Logistic, Tanh, ReLU), solvers (SGD, Adam), and penalty alpha to prevent overfitting. Activation functions used were:

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (5)$$

$$f(x) = \tanh(x) \quad (6)$$

$$f(x) = \max(0, x) \quad (7)$$

- DNN was similar to ANN but had 3-4 hidden layers with equal neurons per layer

with the same hyperparameter tuning as ANN.

D. Validate Model Accuracy

After training the models, we used k-fold cross-validation to evaluate their performance on the training dataset. This process involved splitting the data into k parts, using one part for testing and the rest for training in each iteration. The main goal was to ensure the accuracy remained consistent across all folds, which helped to detect overfitting. We then compared the model's accuracy to results from existing literature. If the accuracy was comparable, we moved on to the next step, otherwise, we revised the experiment to improve the model.

E. Model Evaluation

After validating the models, the final step was training and testing. Specifically, 70% of the training set was used for model training, the remaining 30% for validation, and the testing set for final evaluation. The study aimed to compare the accuracy and efficiency of different models across datasets. The performance metrics included Accuracy, Precision, Recall, and F1-score, defined as:

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (8)$$

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (9)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (10)$$

$$F_1\text{-Score} = 2 \cdot \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall} \quad (11)$$

Here, TP (true positive) and TN (true negative) represent correctly classified samples, while FP (false positive) and FN (false negative) are misclassified samples. A confusion matrix was also used for visualization. Furthermore, time complexity was measured in terms of training and prediction time, though no comparison with prior studies was made due to dependency on implementation, dataset size, and hardware.

V. RESULT AND ANALYST

This section presents in detail the

experimental results and analysis, along with the environment used in this study. It discusses the findings derived from the CIC-IDS2017 and CSE-CIC-IDS2018. All experimental source code and related details are publicly accessible on a GitHub repository. [17] [18]

A. Environment

The models for this study were implemented using the Python programming language within a *Google Colab environment*. Key libraries such as *scikit-learn*, *pandas*, *NumPy*, and *Matplotlib* were used for all experiments. The hardware specifications for this work included an *Intel(R) Xeon(R) CPU @ 2.20 GHz*, *12.7 GB of RAM*, and an *NVIDIA Tesla T4 GPU with 15 GB of VRAM*, running on the *Ubuntu 22.04.4 LTS operating system*.

B. Conduct experiments

The CIC-IDS2017 (~800 MB) and CSE-CIC-IDS2018 (~6.4 GB) datasets are relatively large, and due to hardware constraints, only 10% of the latter was used. Both datasets required preprocessing, including the removal of records with missing or infinite values and duplicates. To address the severe class imbalance, resampling was applied to the training set. While we acknowledge that altering the class distribution may reduce the naturalness of the network traffic profile, training on the original highly imbalanced data would lead to a strong bias towards the benign class, causing the model to miss-detect minority attack types. Therefore, balancing was performed strictly during the training phase to ensure the models learn attack features effectively, while the validation relied on metrics that account for these distributions.

In CIC-IDS2017, attack classes with more than 100,000 samples and the benign class were downsampled to reach a 1:1 ratio between benign and malicious samples. For CSE-CIC-IDS2018, all malicious samples were retained, while the column structure was unified with CIC-IDS2017 by removing two unique columns.

Although these steps improved the class distribution, minority attack classes were not oversampled to avoid model bias. Instead, all malicious traffic was merged into a single “malicious” label, ensuring that the models would not overfit specific attack categories.

Feature selection plays a crucial role in training models with the CIC-IDS2017 dataset, which contains 78 features. In the experiments, only the CIC-IDS2017 dataset was utilized for this process. Due to the large number of features, manual inspection was not performed.

During feature selection with the Random Forest algorithm, 10% of the dataset was used for model training. The importance scores generated in this process were then applied to rank the features. The resulting ranking is illustrated in Fig.1

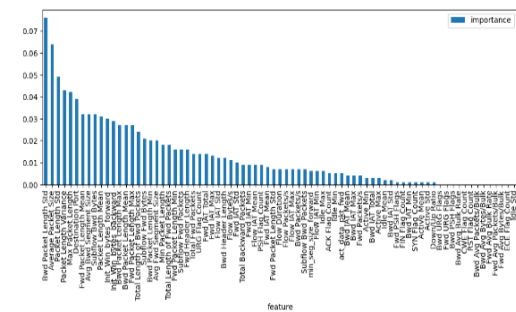


Figure 1. Feature relevance scores for cic-ids2017 dataset

A brute-force strategy was applied to further reduce features. Starting with Bwd Packet Length Std, features were sequentially added according to their ranking. As shown in Fig.2, model accuracy increased with additional features and peaked with the top 11.

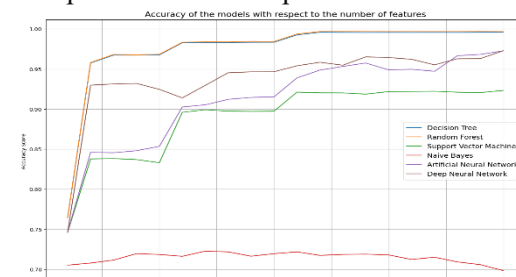


Figure 2. Model performance by number of features

After feature selection, the models were trained and tuned using GridSearchCV. Initial estimates suggested DT and RF could reach about 99% accuracy, ANN and DNN around 96%, SVM 93%, and NB 70%. Tuning had little effect on DT, RF, and NB, while SVM improved to 96% with $C = 100$, $\gamma = 1$, and the RBF kernel. It is noted that a high penalty parameter ($C = 100$) was selected for the SVM.

While, in theory, a large C can lead to overfitting by enforcing a hard margin, our empirical results on the independent test set (CSE-CIC-IDS2018) demonstrated that this configuration achieved the highest generalization accuracy (75.49%) compared to other models, including ANN (71.25%) and DT (70.41%) as shown in Table IV. Contrary to the common assumption that high C values degrade testing performance due to overfitting, in this specific cross-dataset evaluation, the stricter decision boundary provided by SVM ($C = 100$) proved more effective in distinguishing malicious flows under temporal structural changes than the probabilistic boundaries of ANN. This suggests that, for the complex decision boundaries present in network traffic data, a stricter margin was necessary to effectively separate malicious flows from benign traffic.

ANN showed no gain as 40 neurons were already near the optimal 50. For DNN, three hidden layers with 15 neurons each raised accuracy to 97%. Both ANN and DNN performed best with the Tanh activation and Adam solver, showing that most models worked well with default settings, except ANN and DNN which required fine-tuning of hidden layers.

The validation results show that most models achieved high accuracy. DT and RF performed best with about 99%, followed by DNN at 96.98%. SVM and ANN reached around 95%, while NB had the lowest accuracy at 73.73%, indicating weak performance on the CIC-IDS2017 dataset in Table I.

Table 1. Cross-Validation Accuracy Results (CIC-IDS2017)

Model	Fold	Accuracy	Mean Accuracy	Standard Deviation
DT	Fold 1	0.99476735	0.9947	0.0001
	Fold 2	0.99481865		
	Fold 3	0.99456215		
	Fold 4	0.99466475		
	Fold 5	0.99486982		
RF	Fold 1	0.99471605	0.9948	0.0003
	Fold 2	0.99530601		
	Fold 3	0.9949469		
	Fold 4	0.9944339		
	Fold 5	0.99469027		
SVM	Fold 1	0.95885703	0.9583	0.0012
	Fold 2	0.95690761		
	Fold 3	0.95954958		
	Fold 4	0.95677936		
	Fold 5	0.95918943		
NB	Fold 1	0.73067255	0.7301	0.0004
	Fold 2	0.73010824		
	Fold 3	0.72933874		
	Fold 4	0.73018519		
	Fold 5	0.73040913		
ANN	Fold 1	0.9669625	0.9640	0.0020
	Fold 2	0.96480788		
	Fold 3	0.96426922		
	Fold 4	0.9613451		
	Fold 5	0.96239579		
DNN	Fold 1	0.97440107	0.9727	0.0011
	Fold 2	0.97129739		
	Fold 3	0.97286205		
	Fold 4	0.97332376		
	Fold 5	0.97168142		

The validated accuracy of the models was compared with the works of Kostas[19] and Vinayakumar et al.[20], both using the CIC-IDS2017 dataset with binary classification. Results show that DT, RF, and SVM achieved higher accuracy than previous studies, while NB performed better than Vinayakumar et al. but worse than Kostas. Table II

Table 2. Accuracy comparison

ML Models	Accuracy		
	This Work	Kostas	Vinayakumar et al
DT	0.9947	0.95	0.94
RF	0.9948	0.94	0.94
SVM	0.9583	-	0.80
NB	0.7301	0.87	0.31
ANN	0.9640	0.97	0.96
DNN	0.9727	-	0.94

This study compares the performance of machine learning models with other research. Kostas achieved higher accuracy by using model-specific feature selection. In contrast, Vinayakumar et al. had lower accuracy (except for their ANN) because their focus was on optimizing DNNs, not other models. Compared to Hossain et al., this research used a progressive dataset instead of a random split, which provides a more realistic evaluation of model performance as the network environment changes over time. Overall, the models in this paper not only achieved better accuracy but also offered a deeper insight into their performance on progressive datasets.

To begin, we evaluated the models' performance on the training dataset using optimal hyperparameters. Table III presents the accuracy and F1-scores, while the confusion matrices in Fig.3 provide a visual representation. The results clearly indicate that DT and RF demonstrated the highest accuracy, followed by SVM, ANN, and DNN. NB, however, showed a bias towards the “benign” class.

Table 3. Evaluation metrics of models on the cic-ids2017 dataset

Models	Accuracy	Evaluation Metrics			
		Precision	Recall	F1-Score	Class
DT	0.993833	0.9987	0.9890	0.9938	Benign
		0.9890	0.9987	0.9938	malicious
RF	0.9944	0.9987	0.9901	0.9944	Benign
		0.9901	0.9987	0.9944	malicious
SVM	0.9525	0.9874	0.9155	0.9501	Benign
		0.9206	0.9883	0.9532	malicious
NB	0.7459	0.6568	0.9663	0.7821	Benign
		0.9353	0.4911	0.6440	malicious
ANN	0.9497	0.9857	0.9112	0.9470	Benign
		0.9168	0.9867	0.9505	malicious
DNN	0.9707	0.9937	0.9469	0.9697	Benign
		0.9489	0.9939	0.9709	malicious

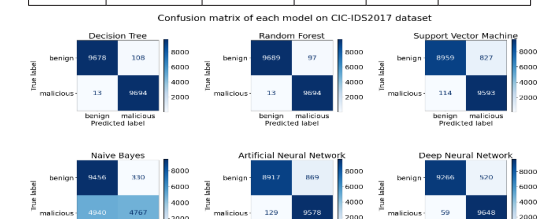


Figure 3. Confusion matrices on the CIC-IDS2017

Next, we conducted a crucial evaluation using an entirely new dataset, CSE-CIC-IDS2018, which the models had not been trained on. The results, as shown in Table IV and the corresponding confusion matrices in Fig.4, revealed a significant drop in performance for all models except for SVM. This poor generalization performance suggests that the models overfitted the training data to varying degrees.

Table 4. Evaluation metrics of models on the cse-cic-ids2018

Models	Accuracy	Evaluation Metrics			
		Precision	Recall	F1-Score	Class
DT	0.70413	0.6079	0.9990	0.7559	Benign
		0.9970	0.3485	0.5165	malicious
RF	0.6804	0.5896	0.9993	0.7417	Benign
		0.9976	0.2967	0.4573	malicious
SVM	0.7549	0.6979	0.8871	0.7812	Benign
		0.8427	0.6116	0.7088	malicious
NB	0.3645	0.5008	0.9919	0.6656	Benign
		0.0279	0.0002	0.0005	malicious
ANN	0.7125	0.6474	0.9046	0.7547	Benign
		0.8387	0.5017	0.6278	malicious
DNN	0.6985	0.6275	0.9283	0.7488	Benign
		0.8592	0.4427	0.5843	malicious

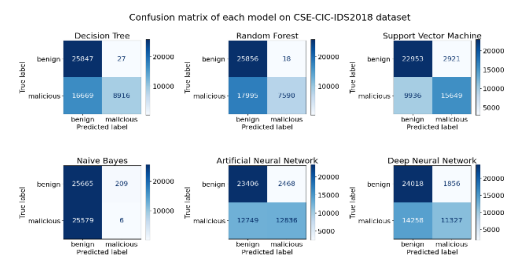


Figure 4. Confusion matrices on the CSE-CIC-IDS2018

Among them, SVM and ANN proved to be more robust. With an accuracy of 76% and 71% respectively, they were the top performers on the new dataset. The confusion matrices illustrate a common issue: a bias towards classifying samples as "benign." While this resulted in misclassifying more benign samples as malicious (indicated by a low recall score of around 0.9 for the benign class), it also enabled them to correctly identify a greater number of malicious samples, yielding a significantly higher recall score for that

class compared to other models.

Figure 8 and 9 were used to assess overfitting. Accuracy results Fig.5 show SVM with the smallest drop, followed by ANN and NB, though NB declines sharply in F1-score Fig.6. DT and RF exhibit the largest decreases in both accuracy and F1-score, indicating that SVM and ANN are less affected by overfitting, while DT and RF are most impacted.

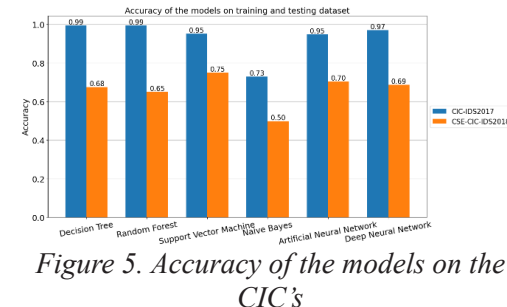


Figure 5. Accuracy of the models on the CIC's

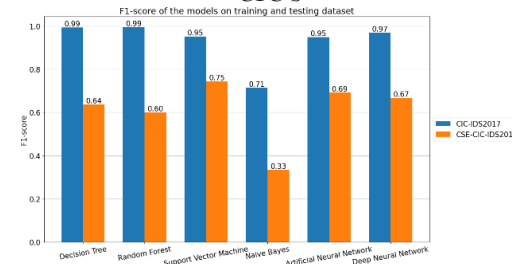


Figure 6. F1-score of the models on CIC's

VI. CONCLUSIONS

The experimental results indicate that most ML models achieved high accuracy when both training and testing were conducted on CIC-IDS2017. However, their performance dropped significantly when evaluated on the independent CSE-CIC-IDS2018 dataset, revealing a strong tendency toward overfitting. Among all classifiers, Support Vector Machine (SVM) and Artificial Neural Network (ANN) demonstrated the best generalization ability, maintaining relatively stable performance across datasets.

REFERENCES

- [1] C. I. f. Cybersecurity, "IDS 2017 | Datasets | Research | Canadian Institute for Cybersecurity | UNB," [Online]. Available:

<https://www.unb.ca/cic/datasets/ids-2017.html>.

- [2] U. Canadian Institute for Cybersecurity, "IDS 2018 | Datasets | Research | Canadian Institute for Cybersecurity | UNB," [Online]. Available: <https://www.unb.ca/cic/datasets/ids-2018.html>.

- [3] C. I. f. Cybersecurity, "A Realistic Cyber Defense Dataset," [Online]. Available: <https://registry.opendata.aws/cse-cic-ids2018/>.

- [4] R. Mills, "LUFLOW Network Intrusion Detection Data Set," [Online]. Available: <https://www.kaggle.com/datasets/mryanm/luflow-network-intrusion-detection-data-set/data>.

- [5] S. S. C. D. T. D. C. M. K. K. T. Saranya, "Performance Analysis of Machine Learning Algorithms in Intrusion Detection System: A Review," Elsevier B.V., Third International Conference on Computing and Network Communications (CoCoNet'19), 2020.

- [6] I. C. O. Vincent Zibi Mohale, "Evaluating machine learning-based intrusion detection systems with explainable AI: enhancing transparency and interpretability," Frontiers in Computer Science, 2025.

- [7] T. Nguyễn, "Decision Tree algorithm," [Online]. Available: https://machinelearningcoban.com/tabml_book/ch_model/decision_tree.html.

- [8] GeeksforGeeks, "Random Forest Algorithm in Machine Learning," 23 Jul 2025. [Online]. Available: <https://www.geeksforgeeks.org/machine-learning/random-forest-algorithm-in-machine-learning/>.

- [9] scikit-learn, "Support Vector Machines," [Online]. Available: <https://scikit-learn.org/stable/modules/svm.html#implementation-details>.

- [10] A. N. Abid Ali Awan, "Naive Bayes Classification Tutorial using Scikit-learn," 3 Mar 2023. [Online]. Available:

<https://www.datacamp.com/tutorial/naive-bayes-scikit-learn>.

- [11] IBM, "What is a Neural Network?," 6 October 2021. [Online]. Available: <https://www.ibm.com/think/topics/neural-networks>.

- [12] S. S. K. A. I. S. G. E. P. K. M. Lydia, "A comprehensive review on wind turbine power curve modeling techniques," 2014.

- [13] M. Mercier, "What is a deep neural network?," 14 Jan 2025. [Online]. Available: <https://botpress.com/blog/deep-neural-network>.

- [14] Y. S. Sydney Mambwe Kasongo, "A Deep Learning Method With Filter Based Feature Engineering for Wireless Intrusion Detection System," IEEE, 2019.

- [15] Y. L. Zhaoyang Xu, "Robust Anomaly Detection in Network Traffic: Evaluating Machine Learning Models on CICIDS2017," 2025.

- [16] T. P. J. V. Kanimozhi, "Artificial Intelligence based Network Intrusion Detection with Hyper-Parameter Optimization Tuning on the Realistic Cyber Dataset CSE-CIC-IDS2018 using Cloud Computing," IEEE, 2019.

- [17] I. S. Tuan-Hong Chua, "Evaluation of Machine Learning Algorithms in Network-Based Intrusion Detection Using Progressive Dataset," Symmetry, 2023.

- [18] C. T. Hong, "Evaluation-of-Machine-Learning-Algorithm-in-Network-Based-Intrusion-Detection-System," [Online]. Available: <https://github.com/tuanhong3498/Evaluation-of-Machine-Learning-Algorithm-in-Network-Based-Intrusion-Detection-System?tab=readme-ov-file>.

- [19] A. K. M. M. B. N. R. Ryan Mills, "Practical Intrusion Detection of Emerging Threats," IEEE, 2021.

- [20] R. Vinayakumar, M. Alazab, K. P. Soman, P. Poornachandran, A. Al-Nemrat and S. Venkatraman, "Deep Learning Approach for Intelligent Intrusion Detection System," IEEE, 2019.

NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG HỌC MÁY NHỎ TINYML CHO NÔNG NGHIỆP VÀ SẢN XUẤT CÔNG NGHIỆP

Trần Huy Long^{1*}, Hoàng Trọng Minh¹

¹ Khoa Viễn thông 1, Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông

*Email: longth@ptit.edu.vn

TÓM TẮT

Mô hình học máy nhỏ (TinyML) đã nổi lên như một giải pháp then chốt để triển khai trí tuệ nhân tạo trên các thiết bị biên giới hạn tài nguyên, đặc biệt trong nông nghiệp và công nghiệp là nơi đòi hỏi khả năng suy luận thời gian thực, tiêu thụ năng lượng thấp và hoạt động ngoại tuyến. Dựa trên các phân tích từ các nghiên cứu về tiếp cận này, bài báo đề xuất khung đánh giá năm chiều bao gồm (i) độ chính xác của mô hình, (ii) hiệu quả tính toán, (iii) tiêu thụ năng lượng, (iv) khả năng mở rộng và thích ứng, và (v) khả năng tích hợp hệ thống nhằm so sánh có hệ thống giữa các nghiên cứu đa nền tảng và đa lĩnh vực. Kết quả cho thấy các mô hình được tối ưu (Random Forest, CNN nhẹ, YOLOv8) có thể đạt độ chính xác cao (>90%), trong khi việc tích hợp IoT, UAV và xử lý biên giúp tiết kiệm năng lượng (8.5–40%) và mở rộng phạm vi triển khai. Quan trọng hơn, khảo sát này so sánh chéo giữa hệ thống IoT nông nghiệp và công nghiệp, làm rõ điểm chung (yêu cầu ngoại tuyến, tiết kiệm năng lượng) và khác biệt (loại cảm biến, tiêu chí đánh giá, điều kiện môi trường). Từ đó, bài báo xác định các hướng nghiên cứu tiếp theo.

Từ khóa: Nông nghiệp, Công nghiệp, Hệ thống IoT, điện toán biên, mô hình học máy nhỏ TinyML.

ABSTRACT

Tiny Machine Learning (TinyML) models have emerged as a key solution for deploying artificial intelligence on resource-constrained edge devices, particularly in agriculture and industry, where real-time inference capabilities, low power consumption, and offline operation are required. Based on analyses from studies on this approach, this paper proposes a five-dimensional evaluation framework including (i) model accuracy, (ii) computational efficiency, (iii) power consumption, (iv) scalability and adaptability, and (v) system integration capabilities for systematic comparison across cross-platform and cross-disciplinary studies. Results show that optimized models (Random Forest, Lightweight CNN, YOLOv8) can achieve high accuracy (>90%), while integration of IoT, UAVs, and edge processing results in energy savings (8.5–40%) and expands deployment scope. More importantly, this survey cross-compares agricultural and industrial IoT systems, clarifying commonalities (such as offline requirements and energy savings) and differences (including sensor types, evaluation criteria, and environmental conditions). From this, the paper identifies directions for further research.

Keywords: Agriculture, Industry, IoT systems, edge computing, TinyML, small machine learning model.

Ngày nhận bài: 26/11/2025; Ngày sửa bài: 16/12/2025; Ngày duyệt đăng: 20/12/2025

1. GIỚI THIỆU

Nhu cầu ngày càng cấp thiết về quản lý tài nguyên bền vững, an ninh lương thực và tự động hóa công nghiệp đã thúc đẩy sự phát triển của các hệ thống thông minh dựa trên trí tuệ nhân tạo (AI) tại chỗ (on-device). Tuy nhiên, các mô hình AI truyền thống thường đòi hỏi cơ sở hạ tầng điện toán đám mây, gây ra độ trễ cao, tiêu tốn băng thông và phụ thuộc kết nối là những yếu tố không phù hợp với môi trường nông thôn, vùng sâu vùng xa hoặc nhà máy công nghiệp hạn chế hạ tầng. Trong bối cảnh nhu cầu ngày càng cấp thiết về quản lý tài nguyên bền vững và ra quyết định thời gian thực trong môi trường hạn chế tài nguyên, Tiny Machine Learning (TinyML) đã nổi lên như một giải pháp then chốt cho nông nghiệp và công nghiệp (Zhou et al., 2025; Joy et al., 2025). Tuy nhiên, các khảo sát hiện có đang tập trung vào các mục tiêu cụ thể như tối ưu hóa mô hình và phần cứng (Temouden, 2025; Capogrosso et al., 2024), hay lĩnh vực ứng dụng duy nhất như nông nghiệp (Munawar et al., 2025) hoặc môi trường (Bamoumen et al., 2022), dẫn đến thiếu góc nhìn liên ngành và cơ sở để so sánh hiệu quả xuyên miền.

Đặc biệt, chưa có khảo sát nào đồng thời phân tích TinyML trong cả nông nghiệp và công nghiệp khi hai lĩnh vực đều đòi hỏi giám sát thời gian thực, tiêu thụ năng lượng thấp và khả năng hoạt động ngoại tuyến, nhưng lại có yêu cầu dữ liệu, điều kiện môi trường và tiêu chí đánh giá khác biệt rõ rệt. Do đó, bài báo này thực hiện một khảo sát hệ thống để làm rõ vai trò của các giải pháp TinyML, điểm chung và khác biệt trong ứng dụng vào cả hai lĩnh vực. Từ đó, đóng góp chính của nghiên cứu khảo sát này sẽ gồm một khung đánh giá năm chiều cho phép so sánh công bằng giữa các nghiên cứu đa nền tảng để phân tích chéo giữa nông nghiệp và công nghiệp, và đề xuất hướng mở cho các nghiên cứu tiếp theo.

2. CÁC NGHIÊN CỨU LIÊN QUAN

Trong vài năm gần đây, một số khảo sát

hệ thống và khảo sát tổng quan đã được tiến hành và công bố nhằm tổng hợp tiến bộ của TinyML trong các lĩnh vực ứng dụng cụ thể. Tuy nhiên, phần lớn các khảo sát hiện có tập trung thuần túy vào kỹ thuật triển khai phần cứng, kiến trúc mô hình, hoặc một lĩnh vực ứng dụng duy nhất, dẫn đến thiếu góc nhìn liên ngành và không đủ cơ sở để so sánh hiệu quả xuyên miền. Từ góc độ tổng quan của tinyML với trọng tâm là tối ưu hóa mô hình và tiêu thụ năng lượng trên thiết bị biên, tác giả (Temouden, 2025) đã tập trung vào các giải pháp kỹ thuật như lượng tử hóa, cắt tỉa và chưng cất kiến thức thể hiện rõ mục tiêu thu nhỏ mô hình học máy. Tuy nhiên, bài khảo sát này không đề cập tới lĩnh vực ứng dụng, cũng không đề cập đến các thách thức đặc thù trong nông nghiệp hay công nghiệp nên chưa đề cập tới đánh giá tính khả thi triển khai. Cùng theo hướng giải pháp kỹ thuật, Capogrosso et al. (2024) khảo sát các thuật toán học máy cho TinyML, nhấn mạnh vào đồng thiết kế phần cứng và phần mềm và các công cụ phát triển (như TensorFlow Lite Micro, Edge Impulse). Các phân tích đánh đổi thực tế giữa độ chính xác, độ trễ và mức tiêu thụ năng lượng trong môi trường thực địa đã không đề cập. Một góc độ khác, Bamoumen et al. (2022) đánh giá khả năng ứng dụng của TinyML trong giải quyết các vấn đề môi trường, bao gồm giám sát khí hậu và tài nguyên. Nhưng bài nghiên cứu này không có các phân tích định lượng với các ứng dụng cụ thể về công nghiệp là một lĩnh vực có nhiều điểm tương đồng về hạn chế tài nguyên và yêu cầu thời gian thực. Tập trung vào ứng dụng trong nông nghiệp chính xác. Tác giả trong Munawar et al. (2025) và Singh et al. (2025) đánh giá vai trò của AI và IoT trong việc nâng cao năng suất và tính bền vững nhưng không phân biệt giữa tính toán đám mây và tinyML về hiệu quả sử dụng tài nguyên. Quan trọng hơn, chưa có khảo sát nào đến nay thực hiện đồng thời ứng dụng tinyML cho cả nông nghiệp và công nghiệp khi cả hai lĩnh

vực đều đòi hỏi giám sát thời gian thực, tiết kiệm năng lượng và khả năng hoạt động ngoại tuyến, nhưng lại có yêu cầu dữ liệu, điều kiện môi trường và tiêu chí đánh giá khác biệt rõ rệt. Vì vậy, bài báo này sẽ thực hiện khảo sát, phân tích để làm sáng tỏ các khía cạnh dưới đây.

Khung đánh giá toàn diện bao gồm: (i) độ chính xác của mô hình, (ii) hiệu quả tính toán, (iii) tiêu thụ năng lượng, (iv) khả năng mở rộng & thích ứng, và (v) khả năng tích hợp hệ thống. Khung này cho phép so sánh công bằng và có hệ thống giữa các nghiên cứu đa nền tảng và đa lĩnh vực.

Phân tích chéo giữa nông nghiệp và công nghiệp qua thống kê và so sánh trực tiếp các giải pháp TinyML trong hai lĩnh vực ứng dụng chính. Qua đó, bài báo làm rõ điểm chung (như nhu cầu ngoại tuyến, tiết kiệm năng lượng) và khác biệt (như loại cảm biến, tần suất giám sát, tiêu chí bảo trì), từ đó rút ra nguyên tắc thiết kế chung và đặc thù miền.

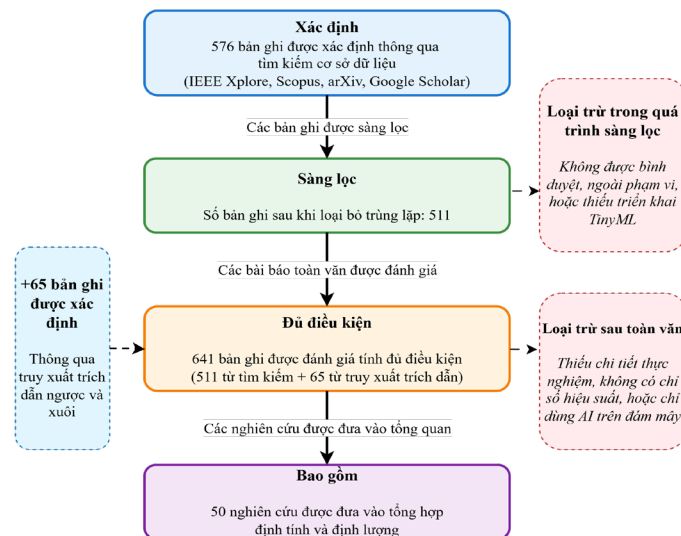
Xác định khoảng trống của các nghiên cứu về dữ liệu và phương pháp để làm rõ cơ chế bảo mật phù hợp với thiết bị năng lượng cực thấp (Bhattacharya & Pandey, 2023) là một hướng đi trong tương lai cùng với các phương pháp cốt lõi như học liên kết tiết kiệm năng lượng, XAI và tiêu chuẩn hóa.

Như vậy, bài khảo sát này không chỉ tổng hợp tri thức, mà còn cung cấp một bản đồ định hướng có tính thực tiễn cao, lấp đầy khoảng trống giữa nghiên cứu học thuật và triển khai thực tế trong cả hai lĩnh vực then chốt: nông nghiệp và công nghiệp.

3. PHƯƠNG PHÁP VÀ PHÂN TÍCH KẾT QUẢ KHẢO SÁT

Để đảm bảo tính hệ thống và độ tin cậy của kết quả tổng quan, nghiên cứu này áp dụng quy trình

PRISMA theo hướng dẫn của Matthew J et.al (2021) bao gồm 5 bước: (i) xác định câu hỏi nghiên cứu, (ii) xây dựng chiến lược tìm kiếm tài liệu, (iii) sàng lọc và lựa chọn nghiên cứu, (iv) trích xuất dữ liệu, và (v) tổng hợp và phân tích kết quả. Quy trình bắt đầu bằng việc khảo sát tập trung làm rõ cách thức triển khai và hiệu quả của các giải pháp TinyML, trong đó câu hỏi nghiên cứu gốc được cụ thể hóa thành bốn truy vấn nhánh tập trung vào các khía cạnh: giám sát cây trồng, phát hiện dịch hại, bảo trì dự đoán và tối ưu hóa quy trình. Dựa trên định hướng này, bước tìm kiếm đã khảo sát và thu thập 576 bài báo từ các cơ sở dữ liệu Scopus, IEEE Xplore và arXiv trong giai đoạn 2022–2025. Nhằm khắc phục hạn chế của việc tìm kiếm từ khóa đơn thuần, bước chuỗi trích dẫn đã bổ sung thêm 65 tài liệu thông qua phương pháp truy vết trích dẫn xuôi và ngược. Tiếp theo, quá trình sàng lọc được thực hiện nghiêm ngặt dựa trên các tiêu chí bao gồm và loại trừ đã thiết lập, qua đó chọn lọc được 50 bài báo có mức độ liên quan cao nhất để phân tích. Cuối cùng, tại bước trích xuất dữ liệu, các tài liệu được phân tích sâu dựa trên năm chiều kỹ thuật cốt lõi. Toàn bộ quy trình lựa chọn nghiên cứu được minh họa bằng sơ đồ luồng PRISMA (Hình 1).



Hình 1. Sơ đồ luồng PRISMA của quy trình lựa chọn nghiên cứu

Khảo sát của chúng tôi tập trung vào việc triển khai các giải pháp học máy dựa trên TinyML trong nông nghiệp (giám sát cây trồng, phát hiện dịch hại) và công nghiệp (bảo trì dự đoán, tối ưu hóa quy trình). Dữ liệu được tổ chức và phân tích theo năm chiều định lượng và định tính: (1) độ chính xác của mô hình, (2) hiệu quả tính toán, (3) tiêu thụ năng lượng, (4) khả năng mở rộng và thích ứng, và (5) khả năng tích hợp hệ thống. Mọi nhận định đều được hỗ trợ bởi ít nhất ba nghiên cứu độc lập, đảm bảo tính khách quan và tái tạo.

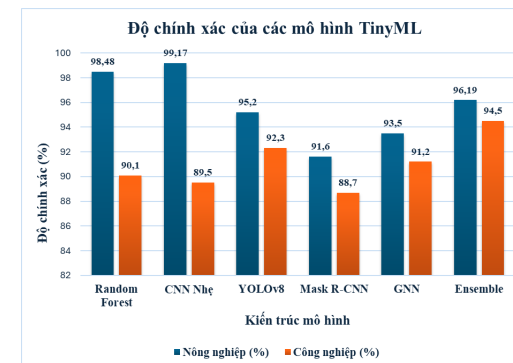
3.1. Độ chính xác của mô hình

Tổng cộng 38/50 nghiên cứu báo cáo độ chính xác trên 90% trong các tác vụ liên quan đến giám sát cây trồng và phát hiện dịch hại. Các mô hình Random Forest và CNN nhẹ là kiến trúc phổ biến nhất.

Random Forest đạt độ chính xác 90.1% trong dự đoán năng suất cây trồng (Dhanaraj et al., 2025), 91.2% trong giám sát sức khỏe cây (Lazaru et al., 2025), và 98.48% khi kết hợp với hồi quy (Gupta et al., 2025).

Các biến thể CNN được tối ưu (MobileNet, YOLOv8, Mask R-CNN nén) đạt độ chính xác từ 89.5% (Bilal et al., 2025) đến 99.17% (Singh & Bharti, 2025) trong phát hiện dịch hại.

Kỹ thuật học nâng cao như chưng cất kiến trúc (Li et al., 2024) và học tập hợp (Choudhari et al., 2024) giúp duy trì độ chính xác cao (96.19%) trong khi giảm số lượng tham số.



Hình 2. Độ chính xác của các mô hình

Tuy nhiên, 12 nghiên cứu ghi nhận suy giảm độ chính xác do khi tối ưu hóa mô hình cho thiết bị biên: Sowmiya & Anitha (2025) báo cáo giảm 2.5% độ chính xác sau khi nén Mask R-CNN; Crupi et al. (2024) ghi nhận mAP = 0.79 (tương đương ~79% độ chính xác) trên SoC công suất cực thấp. Điều này cho thấy sự đánh đổi có hệ thống giữa độ chính xác và giới hạn tài nguyên phần cứng.

3.2. Hiệu quả tính toán

Chúng tôi khảo sát 35/50 nghiên cứu cung cấp số liệu về thời gian suy luận và tiêu thụ bộ nhớ. Các kết quả cho thấy các thông tin quan trọng sau.

Độ trễ suy luận phổ biến dưới 1 giây. Từ 7.6 ms trên Arduino BLE 33 (Gookyi et al., 2024) đến 220 ms trên Edge Impulse (Sowmiya & Anitha, 2025), và 80 ms trên Raspberry Pi 5 (Nyakuri et al., 2025).

Tiêu thụ bộ nhớ thường dưới 1 MB. Cụ thể 726.6 KB RAM (Gookyi et al., 2024), 104 tham số cho mô hình nhà kính (Kango, 2023), và <1 MB cho mô hình YOLO chuyên sang TFLite (Almeida et al., 2024).

Kỹ thuật tối ưu như cắt tỉa, lượng tử hóa, và chưng cất kiến trúc được sử dụng trong 27/50 nghiên cứu để giảm yêu cầu tính toán mà không làm mất đáng kể độ chính xác (Bilal et al., 2025; Li et al., 2024; Crupi et al., 2024).

Các nền tảng UAV cũng cho thấy khả năng xử lý trên bo mạch hiệu quả: Annadata et al. (2024) đạt độ trễ tối thiểu với tài nguyên tính toán tối thiểu, trong khi Arulprakash et al. (2025) giảm 60% thời gian kiểm tra nhờ giám sát thời gian thực.

Bảng 1. Hiệu quả tính toán với các phần cứng khác nhau

Nền tảng	Bộ nhớ	Độ trễ	Độ chính xác	Nghiên cứu
Arduino BLE 33	726.6 KB	7.6 ms	95%	Gookyi et al.
Coral Edge TPU	250 KB	90 ms	96.19%	Choudhari et al.
ESP32	800 KB	200 ms	98%	Chamara et al.
Raspberry Pi 5	500 KB	80 ms	92%	Nyakuri et al.
GAP9 SoC	150 KB	147 ms	79%	Crupi et al.

3.3. Tiêu thụ năng lượng

28/50 nghiên cứu định lượng hoặc phân tích hiệu quả năng lượng. Các phát hiện chính bao gồm:

Tiết kiệm năng lượng từ 8.5% đến 40% nhờ xử lý biên, DVFS, và giao thức truyền thông công suất thấp (Bhattacharya & Pandey, 2023; Zhou et al., 2025; Chamara et al., 2023).

LoRaWAN, NB-IoT, và MQTT được sử dụng trong 18/50 nghiên cứu để giảm tiêu thụ năng lượng trong truyền dữ liệu (Zhou et al., 2025; Karras et al., 2023; Sowmiya & Anitha, 2025).

Hệ thống tự cung cấp năng lượng (năng lượng mặt trời) được triển khai trong 5 nghiên cứu, cho phép hoạt động ngoại tuyến, bền vững trong môi trường xa xôi (Solano et al., 2025; Segalla et al., 2020).

Học tăng cường giúp kéo dài tuổi thọ pin lên 22.86% trong hệ thống IoT hỗ trợ TinyML (Ping & Nixon, 2024).

Tuy nhiên, 8/50 nghiên cứu không cung cấp số liệu định lượng về tiêu thụ năng lượng, chỉ thảo luận ở mức khái niệm (Gupta et al., 2025; Pandey et al., 2024).

Bảng 2. Các nghiên cứu điển hình liên quan tới năng lượng

Nghiên cứu	Kỹ thuật	Tiết kiệm
Solano et al. (2025)	Năng lượng mặt trời	Tự cung cấp (UAV)
Zhou et al. (2025)	LoRaWAN + DVFS	15-40%
Aarthi et al. (2025)	IoT + LoRa	35%

Bảng 3. Các nghiên cứu thể hiện khả năng mở rộng và thích ứng

TT	Nghiên cứu	Đa nền tảng	Thử nghiệm thực địa	Dữ liệu đa vùng	Tích hợp UAV	Học liên kết (FL)	Học chuyển giao (TL)	Điểm tổng (0-6)	Ghi chú
1	Cao & Qin (2025)	✓	✓	✓	X	✓	✓	5	FL toàn diện, đa trang trại
2	Dockendorf (2024)	✓	✓	✓	X	✓	✓	5	TL + FL, khả năng tổng quát cao
3	Annadata et al. (2024)	✓	✓	X	✓	X	X	3	UAV giám sát diện tích lớn
4	Choudhari et al. (2024)	✓	✓	✓	X	X	X	3	Multi-modal, DRL thích ứng
5	Arulprakash et al. (2025)	✓	✓	X	✓	X	X	3	UAV giảm 60% thời gian
6	Hayajneh et al. (2023)	✓	X	✓	X	✓	X	3	FL bảo mật dữ liệu
7	Khan et al. (2024)	✓	✓	X	✓	X	X	3	UAV + Solar, tự cung cấp
8	Gookyi et al. (2024)	✓	X	X	X	X	X	1	Arduino BLE 33, đơn nền tảng

Nghiên cứu	Kỹ thuật	Tiết kiệm
Cao & Qin (2025)	Federated Learning	30%
Annadata et al. (2024)	UAV tối ưu	25%
Ping & Nixon (2024)	Học tăng cường (RL)	22.86%

3.4. Khả năng mở rộng và thích ứng
30/50 nghiên cứu chứng minh khả năng triển khai trên nhiều nền tảng phần cứng: vi điều khiển (ESP32, Arduino), máy tính nhúng (Raspberry Pi), SoC (GAP9), và UAV. Cụ thể:

Học liên kết và học chuyển giao được sử dụng trong 7 nghiên cứu để nâng cao khả năng tổng quát hóa trên nhiều trang trại và điều kiện môi trường (Cao & Qin, 2025; Dockendorf, 2024; Hayajneh et al., 2023).

UAV mở rộng phạm vi phủ sóng không gian, cho phép giám sát diện tích lớn (Annadata et al., 2024; Arulprakash et al., 2025; Khan et al., 2024).

Mô hình nhận thức ngữ cảnh kết hợp dữ liệu đa phương thức (cảm biến, hình ảnh, môi trường) giúp thích ứng với biến động môi trường (Choudhari et al., 2024; Kim & Sim, 2025).

Tuy nhiên, 15/50 nghiên cứu thừa nhận hạn chế trong khả năng khái quát hóa do thiếu bộ dữ liệu đa dạng hoặc thử nghiệm chỉ trong môi trường có kiểm soát (Ibegbu & Korsah, n.d.; Chempavathy et al., 2025). Các nghiên cứu thể hiện khả năng mở rộng và thích ứng được so sánh trong bảng 3.

TT	Nghiên cứu	Đa nền tảng	Thử nghiệm thực địa	Dữ liệu đa vùng	Tích hợp UAV	Học liên kết (FL)	Học chuyển giao (TL)	Điểm tổng (0-6)	Ghi chú
9	Ibegbu & Korsah (n.d.)	X	X	X	X	X	X	0	Môi trường có kiểm soát
10	Chempavathy et al. (2025)	X	X	X	X	X	X	0	Thử nghiệm phòng lab
11	Gupta et al. (2025)	✓	X	X	X	X	X	1	IoT + Cloud, chưa thực địa
12	Lazaru et al. (2025)	✓	✓	X	X	X	X	2	Random Forest, thử nghiệm thực
13	Dhanaraj et al. (2025)	✓	✓	X	X	X	X	2	Dự đoán năng suất, 1 vùng
14	Singh & Bharti (2025)	✓	X	X	X	X	✓	2	CNN + TL, độ chính xác cao
15	Nyakuri et al. (2025)	✓	✓	X	X	X	X	2	Raspberry Pi 5, xử lý nhanh
16	Bilal et al. (2025)	✓	X	X	X	X	X	1	Lượng tử hóa, đơn thiết bị
17	Sowmiya & Anitha (2025)	✓	X	X	X	X	X	1	Edge Impulse, chưa mở rộng
18	Li et al. (2024)	✓	X	X	X	X	✓	2	Chung cất kiến thức + TL
19	Crupi et al. (2024)	✓	X	X	X	X	X	1	GAP9 SoC, công suất thấp
20	Zhou et al. (2025)	✓	✓	✓	X	X	X	3	LoRaWAN, nhiều vùng
21	Chamara et al. (2023)	✓	✓	X	X	X	X	2	NB-IoT, giám sát thời gian thực
22	Karras et al. (2023)	✓	X	X	X	X	X	1	MQTT, tiết kiệm năng lượng
23	Solano et al. (2025)	✓	✓	X	✓	X	X	3	UAV Solar, off-grid
24	Segalla et al. (2020)	✓	✓	✓	X	X	X	3	WSN, nông nghiệp chính xác
25	Ping & Nixon (2024)	✓	X	X	X	X	X	1	RL tối ưu năng lượng
26	Kim & Sim (2025)	✓	✓	✓	X	X	X	3	Context-aware, thích ứng môi trường
27	Jothibasu et al. (2025)	✓	✓	X	X	X	X	2	Multi-sensor fusion
28	Aarthi et al. (2025)	✓	✓	X	X	X	X	2	IoT + LoRa, tầm xa
29	Almeida et al. (2024)	✓	X	X	X	X	X	1	YOLO → TFLite
30	Bhattacharya & Pandey (2023)	✓	X	X	X	X	X	1	Blockchain + TinyML

4.5. Khả năng tích hợp hệ thống

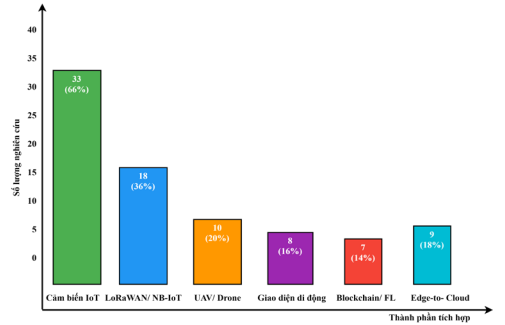
Chúng tôi xem xét 33 nghiên cứu tích hợp TinyML với hạ tầng IoT và điện toán biên và rút ra các kết luận như dưới đây, các thông tin tổng hợp được trình bày trong hình 3.

Mạng cảm biến đa phương thức được sử dụng để kết hợp dữ liệu hình ảnh, độ ẩm, nhiệt độ, và quang phổ (Choudhari et al., 2024; Aarthi et al., 2025; Jothibasu et al., 2025).

Giao thức truyền thông như LoRaWAN (12 nghiên cứu), NB-IoT (5), và MQTT (7) hỗ trợ kết nối tầm xa, công suất thấp (Zhou et al., 2025; Chamara et al., 2023; Karras et al., 2023).

Kiến trúc Edge-to-Cloud hoặc hybrid được triển khai trong 9 nghiên cứu để cân

bằng xử lý cục bộ và mở rộng đám mây (Lazaru et al., 2025; Nyakuri et al., 2025).



Hình 3. Khả năng tích hợp hệ thống
Tự động hóa được tích hợp qua UAV, robot, và giao diện di động (Annadata et al., 2024; Arulprakash et al., 2025; Jirapanthong et al., 2024).

Tuy nhiên, 10 nghiên cứu ghi nhận thách thức trong tích hợp cảm biến không đồng nhất và phụ thuộc vào giao thức cụ thể, làm giảm tính linh hoạt khi triển khai trên nhiều hạ tầng (Choudhari et al., 2024; Dong et al., 2024).

4. THẢO LUẬN

Khảo sát này tổng hợp các giải pháp học máy cho TinyML trong nông nghiệp và công nghiệp nhằm nổi bật các giá trị mà các khảo sát khác chưa đề cập là khung đánh giá năm chiều bao gồm độ chính xác, hiệu quả tính toán, tiêu thụ năng lượng, khả năng mở rộng và khả năng tích hợp. Trong đó, khung năm chiều của khảo sát này cho phép so sánh có hệ thống giữa các nền tảng, mô hình và lĩnh vực, từ đó hỗ trợ ra quyết định thiết kế có cơ sở để triển khai TinyML trong môi trường tài nguyên giới hạn. Việc phân tích chéo giữa nông nghiệp và công nghiệp là điểm khác biệt rõ rệt về góc nhìn. Các khảo sát trước chủ yếu thiên về một lĩnh vực dẫn đến thiếu hiểu biết về các nguyên tắc thiết kế chung và đặc thù miền. Trong khi đó, khảo sát này đã làm rõ vấn đề cả hai lĩnh vực đều ưu tiên mô hình nhẹ, ngoại tuyến, tiêu thụ năng lượng thấp. Nhưng nông nghiệp thiên về giám sát đa phương thức, tích hợp UAV, và xử lý hình ảnh dưới điều kiện môi trường động, trong khi công nghiệp ưu tiên độ tin cậy hệ thống, khả năng phát hiện sớm lỗi, và tích hợp với hệ thống SCADA/IIoT. Sự so sánh này không chỉ giúp định hướng lựa chọn kiến trúc phù hợp, mà còn gợi mở cơ hội chuyển giao tri thức giữa hai lĩnh vực. Ví dụ: học tập liên kết từ công nghiệp có thể áp dụng cho mạng trang trại phân tán. Và hướng nghiên cứu trong tương lai cũng nhận rõ khi khảo sát gồm các hướng như học liên kết tiết kiệm năng lượng, AI có thể giải thích (XAI), hay xây dựng tiêu chuẩn hóa benchmark chung.

5. KẾT LUẬN

Khảo sát này đã hệ thống hóa và phân tích các nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm về TinyML trong nông nghiệp và công nghiệp, dựa trên năm chiều kỹ thuật

cốt lõi. Kết quả cho thấy các giải pháp hiện tại đã đạt được sự cân bằng đáng kể giữa độ chính xác, hiệu quả tính toán, và tiết kiệm năng lượng nhờ tối ưu hóa mô hình và tích hợp IoT. Tuy nhiên, sự đánh đổi giữa độ chính xác và tài nguyên phần cứng vẫn tồn tại, đặc biệt trên các nền tảng công suất cực thấp như GAP9 SoC.

Quan trọng nhất, bài báo làm rõ sự khác biệt thiết kế giữa hai lĩnh vực nông nghiệp và công nghiệp. Nông nghiệp ưu tiên giám sát đa phương thức và tích hợp UAV trong môi trường biến động, trong khi công nghiệp nhấn mạnh độ tin cậy hệ thống và tích hợp với hạ tầng IIoT. Điều này cho thấy không thể áp dụng nguyên mẫu từ lĩnh vực này sang lĩnh vực kia mà không điều chỉnh theo ngữ cảnh.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Aarthi, G., Binshu, A., Singh, A., Raut, V., Mary, G. I., & M, R. K. (2025), *IoT-driven plant height monitoring and disease prediction using machine learning*, In 2025 IEEE International Conference on Sustainable Energy and Networks (SENNET) (pp. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/sennet64220.2025.11136001>
- [2]. Almeida, G. P. S. D., Santos, L. N. S. D., Souza, L. R. D. S., Gontijo, P. D. C., Oliveira, R. D., ... & França, H. F. D. C. (2024), *Performance analysis of YOLO and Detectron2 models for detecting corn and soybean pests employing customized dataset*, *Agronomy*, 14(10), 2194. <https://doi.org/10.3390/agronomy14102194>
- [3]. Annadata, Y. S. H., Moganarengam, V., & Nikoubin, T. (2024). *TinyML powered drone in agriculture application*, In 2024 IEEE Dallas Circuits and Systems Conference (DCAS) (pp. 1–4). IEEE. <https://doi.org/10.1109/dcas61159.2024.10539880>
- [4]. Arthur, E. A. E., Wulnye, F. A., Gookyi, D. A. N., Agyekum, K. O. O., Danquah, P., & Gyaang, R. (2024), *Edge Impulse vs TensorFlow: A comparative analysis of TinyML platforms for maize leaf disease identification*, In 2024 IEEE

International Conference on Trends in Advanced Sciences (ICTAS) (pp. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ictas59620.2024.10507119>

[5]. Arulprakash, M., Thangadurai, K., Mohammed, Z. A., Venkatesh, D., Kumar, B., & Muthulekshmi, M. (2025), *CNN-based autonomous smart drones for precision agriculture and crop monitoring*, In 2025 International Conference on Convergent Innovation and Technology (CONIT) (pp. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/conit65521.2025.11167427>

[6]. Bamoumen, H., Temouden, A., Benamar, N., & Chtouki, Y. (2022), *How TinyML can be leveraged to solve environmental problems: A survey*, In 2022 International Conference on Innovation and Intelligence for Informatics, Computing, and Technologies (3ICT) (Vol. 2, pp. 352–357). IEEE. <https://doi.org/10.1109/3ICT56508.2022.9990661>

[7]. Bhattacharya, S., & Pandey, M. (2023), *Deploying an energy efficient, secure & high-speed sidechain-based TinyML model for soil quality monitoring and management in agriculture*, *Expert Systems with Applications*, 234, 122735. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.122735>

[8]. Bilal, M. A., Shah, A. A., Abbas, S., & Khan, M. A. (2025), *High-performance deep learning for instant pest and disease detection in precision agriculture*, *Food Science & Nutrition*, 13(9). <https://doi.org/10.1002/fsn3.70963>

[9]. Cao, H., & Qin, Y. (2025), *Adaptive resource management in cloud edge architectures for IoT-driven smart agriculture systems*, In 2025 IEEE International Conference on Intelligent Processing and Computing Applications (ICIPCA) (pp. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/icipca65645.2025.11138816>

[10]. Capogrosso, L., Cunico, F., Cheng, D. S., Fummi, F., & Cristani, M. (2024). *A machine learning-oriented survey on Tiny Machine Learning*, IEEE Access,

12, 29998–30028. <https://doi.org/10.1109/access.2024.3365349>

[11]. Chamara, N., Bai, G., & Ge, Y. (2023), *AiCrop Cam: Deploying classification, segmentation, detection, and counting deep-learning models for crop monitoring on the edge*, *Computers and Electronics in Agriculture*, 215, 108420. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108420>

[12]. Chempavathy, B., Ramani, D. R., Prabhu, A. V., & Deepthansh, M. (2025), *Bringing precision to the margins: Lightweight machine learning models for resource-constrained agriculture*, In 2025 IEEE International Conference on Computational Technologies and Data Communication (ICCTDC) (pp. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/icctdc64446.2025.11158763>

[13]. Choudhari, A., Bhoyar, D., & Badole, W. (2024), *Design of an IoT based monitoring system utilizing deep reinforcement learning and ensemble learning for precision agriculture*, In 2024 IEEE International Conference on Smart Computing and Smart Systems (ICSCSS) (pp. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/icscss60660.2024.10625266>

[14]. Crupi, L., Butera, L., Ferrante, A., & Palossi, D. (2024). *A deep learning-based pest insect monitoring system for ultra-low power pocket-sized drones*. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arxiv.2407.00815>

[15]. Dhanaraj, R. K., Maragatharajan, M., Sureshkumar, A., & Balakannan, S. P. (2025), *On-device AI for climate-resilient farming with intelligent crop yield prediction using lightweight models on smart agricultural devices*, *Scientific Reports*, 15, 16014. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-16014-4>

[16]. Dockendorf, C. (2024). *Lite-Agro: Integrating federated learning and TinyML on IoAT-edge for plant disease classification [Doctoral dissertation/ Master's thesis, University of North Texas]*, University of North Texas Theses and

Dissertations. <https://doi.org/10.12794/metadac2332582>

[17]. Dong, M., Yu, H., Sun, Z., Zhang, L., Sui, Y., & Zhao, R. (2024), *Research on agricultural environmental monitoring Internet of Things based on edge computing and deep learning*, Journal of Intelligent Systems. <https://doi.org/10.1515/jisys-2023-0114>

[18]. Gookyi, D. A. N., Wulnye, F. A., Arthur, E., Ahiadormey, R. K., Agyemang, J. O., Agyekum, K. O. O., & Gyaang, R. (2024), *TinyML for smart agriculture: Comparative analysis of TinyML platforms and practical deployment for maize leaf disease identification*, Smart Agricultural Technology, 8, 100490. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100490>

[19]. Gupta, V., Singh, R., Mishra, D., Sexena, P., & Kapoor, N. (2025), *Smart agriculture: Leveraging IoT and machine learning for sustainable farming*, Preprints. <https://doi.org/10.71143/r5sbb313>

[20]. Hayajneh, A. M., Aldalhmeh, S. A., Alasali, F., Al-Obiedollah, H., Zaidi, S. A., & McLernon, D. (2023), *Tiny machine learning on the edge: A framework for transfer learning empowered unmanned aerial vehicle assisted smart farming*, IET Smart Cities. <https://doi.org/10.1049/smc.2.12072>

[21]. Ibegbu, C., & Korsah, G. A. (2024). *TinyML for the detection of plant diseases in resource-constrained areas within West Africa*, In 2024 IEEE International Conference on Advanced Science and Technology (ICAST) (pp. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/icast61769.2024.10856464>

[22]. Jirapanthong, W., Sukwinya, K., & Poolsawas, B. (2024), *Towards a decision support system for farm precision*, In 2024 9th International Conference on Information Technology (INCIT) (pp. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/incit63192.2024.10810569>

[23]. Jothibas, M., Miruthula, P., &

Harini, K. S. (2025), *Empowering smart farming: Extensive plant surveillance and accurate pest identification*, In Advances in Intelligent Systems and Computing (Vol. 1593, pp. 95–107). Springer. <https://doi.org/10.1201/9781779643599-8>

[24]. Joy, H. K., Jayarani, E. A., & Sridevi, R. (2025), *TinyML empowering intelligent edge devices*, In Advances in Computational Intelligence and Robotics (pp. 71–102). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/979-8-3373-0746-6.ch003>

[25]. Kango, S. (2023), *Developing a TinyML-oriented deep learning model for an intelligent greenhouse microclimate control from multivariate sensed data*, In Lecture Notes in Electrical Engineering (Vol. 961, pp. 283–296). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-19-7663-6_27

[26]. Karras, A., Karras, C. N., Giannaros, A., Giotoopoulos, K. C., Tsolis, D., Oikonomou, K., & Sioutas, S. (2023), *TinyML-based event detection: An edge-cloud approach for smart agriculture over LoRa WSNs*, In 2023 IEEE SEEDA-CECNSM Conference (pp. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/seeda-cecnsm61561.2023.10470881>

[27]. Khan, A., Malebary, S. J., Dang, L. M., Binzagr, F., Song, H., & Moon, H. (2024), *AI-enabled crop management framework for pest detection using visual sensor data*, Plants, 13(5), 653. <https://doi.org/10.3390/plants13050653>

[28]. Kim, H., & Sim, H. S. (2025). *Proactive peach pest control: Image analysis and real-time environmental method*, International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology, 15(4), 1299–1308. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.15.4.21218>

[29]. Lazaru, M. C., Malgwi, Y. M., & Jasini, M. G. (2025), *An autonomous framework for crop monitoring and management using machine learning techniques*, BIMA: Jurnal Teknologi dan Inovasi, 9(2), 1302. <https://doi.org/10.64290/bima.v9i2b.1302>

[org/10.64290/bima.v9i2b.1302](https://doi.org/10.64290/bima.v9i2b.1302)

[30]. Li, Y., Liang, K., & Zhang, Y. (2024), *Plant pest and disease lightweight identification model by fusing tensor features and knowledge distillation*, Frontiers in Plant Science, 15, 1443815. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1443815>

[31]. Munawar, M., Singh, T. M., Fatima, S., Mohana, R. M., & Nag, A. (2025), *Agriculture 6.0*. In Advances in Computational Intelligence and Robotics (pp. 225–256). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/979-8-3373-4207-8.ch009>

[32]. Nyakuri, J. P., Nkundineza, C., Gatera, O., Nkurikiyeyezu, K., & Mwitende, G. (2025), *AI-IoT driven system for agricultural pest outbreak risk prediction*, Research Square. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-6881038/v1>

[33]. Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... & Moher, D. (2021), *The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews*, BMJ, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>

[34]. Pandey, P., Kumar, S., Khanna, P., & Pragya. (2024), *Enhancing agricultural practices through IoT-based smart farming technologies: A case study on banana crop yield optimization*, Asian Journal of Research in Computer Science, 17(7), 55–66. <https://doi.org/10.9734/ajrcos/2024/v17i7477>

[35]. Ping, J. M., & Nixon, K. J. (2024), *Simulating battery-powered TinyML systems optimised using reinforcement learning in image-based anomaly detection*, arXiv. <https://doi.org/10.48550/arxiv.2403.05106>

[36]. Segalla, A., Fiacco, G., Tramarin, L., Nardello, M., & Brunelli, D. (2020), *Neural networks for pest detection in precision agriculture*, In 2020 IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Food (pp. 222–226). IEEE. <https://doi.org/10.1109/>

[metroagrifor50201.2020.9277657](https://doi.org/10.1109/metroagrifor50201.2020.9277657)

[37]. Singh, A. K., Barman, S., Aparna, P. M., M. M. H., Babu, S., Satheeshkumar, N., Ramasamy, M., & Thiruvengadam, K. (2025), *Integration of AI and IoT for yield optimization in precision farming*, Journal of Experimental Agriculture International, 47(3), 233–241. <https://doi.org/10.9734/jeai/2025/v47i33331>

[38]. Singh, T. D., & Bharti, R. (2025), *An efficient pest detection and classification in smart agriculture using advanced machine learning methods and IoT for improving crop productivity*, International Journal of Image and Graphics. <https://doi.org/10.1142/S0219467827500550>

[39]. Solano, D., Dalisay, M. C., Nair, V., Kumarapandian, S., & Natarajan, R. (2025). *Solar-powered PredictBot: AI-driven remote sensing and IoT integration for real-time pest and disease detection in agriculture*, In 2025 IEEE International Conference on Renewable Energy and Power Electronics (ROMA) (pp. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/roma66616.2025.11155412>

[40]. Sowmiya, K., & Anitha, V. (2025), *A context-aware IoT and edge computing framework for wireless plant disease diagnosis using compressed Mask R-CNN and ResNet-50*, Journal of Wireless Mobile Networks, Ubiquitous Computing, and Dependable Applications, 16(2), 707–720. <https://doi.org/10.58346/jowua.2025.i2.043>

[41]. Temouden, A., Bamoumen, H., Benamar, N., Chtouki, Y., & Hafid, A. (2023). *A comprehensive survey on TinyML*. IEEE Access, 11. <https://doi.org/10.1109/access.2023.3294111>

[42]. Zhou, Z., Li, L., & Liu, C. Z. (2025). *Optimal intelligent embedded edge computing for AIoT in smart agriculture*, In 2025 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA) (pp. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/iciea65512.2025.11149147>

ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP HỌC TẬP CHỦ ĐỘNG KẾT HỢP CÔNG NGHỆ HỖ TRỢ NHẪM NÂNG CAO HIỆU QUẢ HỌC TẬP CHO SINH VIÊN ĐẠI HỌC NGÀNH KỸ THUẬT TẠI VIỆT NAM

Phạm Thị Chiêm^{1*}, Phạm Tuấn Minh²

¹ Phòng Khảo thí, Trường Đại học Công nghệ Đông Á

² Sinh viên, Trường Điện - Điện tử, Đại học Bách Khoa Hà Nội

*Email: chiempt@eaut.edu.vn

TÓM TẮT

Trước yêu cầu đổi mới đào tạo kỹ thuật trong kỷ nguyên số, phương pháp học tập chủ động kết hợp công nghệ hỗ trợ, đặc biệt là công nghệ AI, đang trở thành hướng tiếp cận quan trọng giúp nâng cao mức độ tham gia và hiệu quả học tập của sinh viên. Nghiên cứu này đánh giá tác động của mô hình đối với sinh viên đại học ngành kỹ thuật tại Việt Nam thông qua thiết kế hỗn hợp gồm khảo sát định lượng 480 sinh viên thuộc năm ngành kỹ thuật, kết hợp dữ liệu định tính từ phỏng vấn và quan sát lớp học. Bảng hỏi Likert 5 mức đo ba khía cạnh tham gia (hành vi, nhận thức, cảm xúc) được kiểm định bằng Cronbach's $\alpha \geq 0,78$ và KMO-Bartlett, EFA. Các công cụ hỗ trợ như Kahoot, Padlet, Google Classroom, Moodle, phần mềm mô phỏng kỹ thuật, phòng thí nghiệm ảo (VR/AR) và AI trợ giảng được sử dụng trong nhiều học phần. Kết quả phân tích cho thấy mức độ tham gia có ảnh hưởng tích cực và có ý nghĩa thống kê đến kết quả học tập của sinh viên; sinh viên đánh giá cao tính hữu ích và khả năng hỗ trợ học tập mà công nghệ mang lại. Nghiên cứu khẳng định tính khả thi và hiệu quả của mô hình học tập chủ động kết hợp công nghệ, đồng thời đề xuất nhân rộng áp dụng cho học phần kỹ thuật bậc đại học.

Từ khóa: AI trong giáo dục, công nghệ hỗ trợ học tập, hiệu quả học tập, học tập chủ động, sinh viên kỹ thuật.

ABSTRACT

In response to the need for innovation in engineering education in the digital age, active learning approaches combined with technology support - particularly artificial intelligence (AI) - have emerged as an important means of enhancing student engagement and learning effectiveness. This study examines the impact of this model on undergraduate engineering students in Vietnam using a mixed-methods design, including a quantitative survey of 480 students across five engineering disciplines and qualitative data collected from interviews and classroom observations. A five-point Likert-scale questionnaire measuring three dimensions of engagement (behavioral, cognitive, and emotional) was validated using Cronbach's alpha ($\alpha \geq 0.78$) and KMO-Bartlett tests with exploratory factor analysis (EFA). Learning support tools such as Kahoot, Padlet, Google Classroom, Moodle, engineering simulation software, virtual laboratories (VR/AR), and AI-based teaching assistants were applied across multiple courses. The results indicate that student engagement has a positive and statistically significant effect on learning outcomes, and that students highly value the usefulness and instructional support provided by technology. The findings confirm the feasibility and effectiveness of integrating active learning with technology and recommend scaling up this model in undergraduate engineering education.

Keywords: AI in education, learning support technology, learning effectiveness, active learning, engineering students.

Ngày nhận bài: 09/11/2025; Ngày sửa bài: 09/12/2025; Ngày duyệt đăng: 20/12/2025

1. MỞ ĐẦU

Sự phát triển nhanh chóng của chuyển đổi số và Cách mạng công nghiệp 4.0 đặt giáo dục đại học Việt Nam, đặc biệt trong các ngành kỹ thuật, trước yêu cầu đổi mới mạnh mẽ phương pháp dạy học nhằm phát triển các năng lực cốt lõi của kỹ sư/cử nhân hiện đại như tư duy logic, sáng tạo, hợp tác và thực hành kỹ thuật (OECD, 2025). Tuy nhiên, thực tế nhiều sinh viên vẫn học theo lối thụ động, phụ thuộc vào bài giảng và ghi nhớ máy móc, dẫn đến hạn chế trong kỹ năng mềm, năng lực tự học và khả năng giải quyết vấn đề - những năng lực quan trọng của kỹ sư/cử nhân trong giai đoạn chuyển đổi số (UNESCO, 2024).

Trong xu thế đổi mới này, học tập chủ động (Active Learning) kết hợp công nghệ hỗ trợ đã được chứng minh là giải pháp hiệu quả trong việc tăng tương tác, tạo phản hồi tức thì và cung cấp môi trường mô phỏng gắn với thực hành nghề nghiệp (Freeman et al., 2014; Prince & Felder, 2020). Công nghệ như Kahoot, Padlet, Google Classroom, phòng thí nghiệm ảo (VR/AR), phần mềm mô phỏng kỹ thuật (Labster, MATLAB Simulink) và các công nghệ AI như ChatGPT, AI trợ giảng ngày càng được tích hợp vào các chương trình đào tạo (Bond et al., 2021; Radianti et al., 2020; Zawacki-Richter et al., 2019). Tuy nhiên, tại Việt Nam, các nghiên cứu thực nghiệm mang tính hệ thống về mô hình này vẫn còn hạn chế.

Từ yêu cầu thực tiễn đó, nghiên cứu được thực hiện nhằm đánh giá tác động của mô hình học tập chủ động kết hợp công nghệ hỗ trợ đối với sinh viên kỹ thuật trong năm ngành: Công nghệ thông tin, Cơ điện tử, Công nghệ kỹ thuật điều khiển - Tự động hóa, Công nghệ kỹ thuật Điện - Điện tử, Công nghệ kỹ thuật Ô tô.

Nghiên cứu tập trung trả lời hai câu hỏi chính:

- Việc kết hợp học tập chủ động với công nghệ hỗ trợ có cải thiện hiệu quả học tập của sinh viên kỹ thuật hay không?

- Những yếu tố nào ảnh hưởng đến mức độ tham gia và mức độ tiếp nhận mô hình của sinh viên?

2. GIẢI QUYẾT VẤN ĐỀ

2.1. Cơ sở lý luận

2.1.1. Phương pháp học tập chủ động trong đào tạo kỹ thuật

Học tập chủ động đặt sinh viên ở trung tâm quá trình kiến tạo tri thức thông qua thảo luận, giải quyết vấn đề, phản biện và thực hành. Các hình thức học theo dự án, học qua tình huống, hợp tác nhóm và mô phỏng ảo giúp người học gắn kết kiến thức với thực tiễn. Trong đào tạo kỹ thuật, phương pháp này đặc biệt phù hợp nhờ khả năng phát triển tư duy phản biện, giải quyết vấn đề và hợp tác - những năng lực cốt lõi theo khung CDIO và chuẩn ABET.

Nhiều nghiên cứu quốc tế cho thấy học tập chủ động giúp cải thiện đáng kể kết quả học tập và mức độ ghi nhớ (Freeman et al., 2014; Prince & Felder, 2020). Các nghiên cứu gần đây hơn tiếp tục khẳng định tác động tích cực của Active Learning đối với năng lực giải quyết vấn đề và kết quả học tập trong giáo dục kỹ thuật (Borrego & Henderson, 2022; Greenwald et al., 2024; Tan & Idris, 2025).

Tóm lại, học tập chủ động, đặc biệt khi kết hợp công nghệ, là xu hướng phù hợp và mang lại nhiều lợi ích cho đào tạo kỹ thuật trong bối cảnh chuyển đổi số hiện nay.

2.1.2. Công nghệ hỗ trợ học tập trong giáo dục kỹ thuật

Công nghệ giáo dục (EdTech) đóng vai trò là chất xúc tác mở rộng phạm vi và hiệu quả của học tập chủ động. Các nền tảng như Google Classroom, Moodle và Canvas giúp quản lý học phần, giao nhiệm vụ và cung cấp phản hồi kịp thời. Các công cụ tương tác như Kahoot, Padlet, Mentimeter hoặc Quizizz thúc đẩy sự tham gia và phản hồi tức thì. Trong các môn kỹ thuật, phần mềm mô phỏng như Labster, MATLAB Simulink, Arduino IDE, AutoCAD và môi trường VR/AR cho phép sinh viên thực hành trong không gian an toàn và linh hoạt, giúp tăng

hiệu quả học tập (Radianti et al., 2020).

Sự phát triển của AI trong giáo dục (ChatGPT, AI Tutor, Copilot for Education) mở ra hỗ trợ cá nhân hóa, giải thích thông tin, gợi ý học tập và phân tích tiến trình học (Zawacki-Richter et al., 2019). Các nghiên cứu gần đây cho thấy khi công nghệ được tích hợp phù hợp vào hoạt động dạy học, mức độ tham gia và kết quả học tập của sinh viên kỹ thuật tăng đáng kể (Bond et al., 2021).

Nhìn chung, công nghệ không chỉ hỗ trợ mà còn mở rộng khả năng triển khai học tập chủ động, giúp sinh viên kỹ thuật tăng mức độ tham gia, phát triển năng lực số và trải nghiệm phong phú - những yếu tố quan trọng trong giáo dục kỹ thuật hiện đại.

2.1.3. Hiệu quả học tập trong đào tạo kỹ thuật

Hiệu quả học tập trong giáo dục kỹ thuật được hiểu là mức độ sinh viên đạt được mục tiêu học tập và đáp ứng tiêu chuẩn đầu ra nghề nghiệp. Bên cạnh kết quả đánh giá qua điểm số, hiệu quả học tập còn có khả năng vận dụng kiến thức để giải quyết vấn đề kỹ thuật, mức độ tham gia vào các hoạt động học tập và phát triển các kỹ năng mềm như hợp tác, giao tiếp chuyên môn và tư vấn phản biện.

Theo OECD (2025), trong bối cảnh chuyển đổi số, hiệu quả đào tạo đại học - đặc biệt trong các ngành kỹ thuật - cần được đánh giá dựa trên năng lực thực thi, khả năng ứng dụng công nghệ và năng lực giải quyết vấn đề phức tạp, thay vào đó chỉ dựa vào hệ thống kiểm tra kết quả. Quan điểm này cũng được UNESCO (2024) nhấn mạnh khi coi năng lực số, tư duy phản biện và học tập suốt đời là những thành tố cốt lõi của hiệu quả học tập trong giáo dục đại học hiện đại.

Các nghiên cứu gần đây cho thấy công việc tích hợp công nghệ vào mô hình học tập chủ động phần cải thiện đồng thời các chỉ báo hiệu quả học tập, thông qua tăng cơ hội tương tác, phản hồi tức thì và trải nghiệm thực hành an toàn bằng mô phỏng, phòng thí nghiệm ảo và công nghệ AI (Greenwald et

al., 2024; Tan & Idris, 2025). Như vậy, hiệu quả học tập trong đào tạo kỹ thuật là kết quả của sự kết hợp hài hòa giữa phương pháp sư phạm phù hợp và công nghệ hỗ trợ, hướng tới phát triển năng lực toàn diện cho sinh viên.

2.2. Mô hình nghiên cứu và giả thuyết

2.2.1. Cơ sở lý thuyết đề xuất mô hình

Mô hình nghiên cứu được xây dựng dựa trên ba nền tảng lý thuyết quan trọng:

(1) Thuyết kiến tạo xã hội (Vygotsky, 1978): tri thức được hình thành thông qua tương tác xã hội và hoạt động hợp tác. Học tập chủ động kết hợp công nghệ hỗ trợ tạo ra môi trường thuận lợi để sinh viên trao đổi, phản biện và kiến tạo tri thức thông qua các nhiệm vụ học tập có tính cộng tác.

(2) Thuyết học tập trải nghiệm (Kolb, 1984): nhấn mạnh vai trò của trải nghiệm thực hành trong việc chuyển hóa kiến thức. Các công cụ mô phỏng, thí nghiệm ảo, công nghệ VR/AR giúp sinh viên kỹ thuật tái hiện tình huống nghề nghiệp, tăng khả năng hiểu sâu và rèn luyện kỹ năng thực hành trong môi trường an toàn, chi phí thấp.

(3) Mô hình chấp nhận công nghệ -TAM(Davis, 1989): lý giải mức độ sẵn sàng sử dụng công nghệ của người học dựa trên: nhận thức về tính hữu ích và mức độ dễ sử dụng. Khi công nghệ học tập được thiết kế thân thiện và mang lại lợi ích rõ rệt, sinh viên sẽ tích cực tham gia hơn, qua đó cải thiện kết quả học tập.

Từ ba nền tảng lý thuyết trên cho thấy: ứng dụng phương pháp học tập chủ động kết hợp công nghệ hỗ trợ làm tăng mức độ tham gia (hành vi, nhận thức, cảm xúc) từ đó cải thiện hiệu quả học tập.

2.2.2. Giả thuyết nghiên cứu

Từ mô hình lý thuyết, nghiên cứu xây dựng bốn giả thuyết:

H1: Học tập chủ động có tác động tích cực đến mức độ tham gia của sinh viên

H2: Công nghệ hỗ trợ học tập có tác động tích cực đến mức độ tham gia và hợp tác của sinh viên.

H3: Mức độ tham gia học tập có ảnh hưởng tích cực đến kết quả học tập.

H4: Sự kết hợp giữa học tập chủ động và công nghệ hỗ trợ có tác động gián tiếp lên hiệu quả học tập thông qua mức độ tham gia của sinh viên.

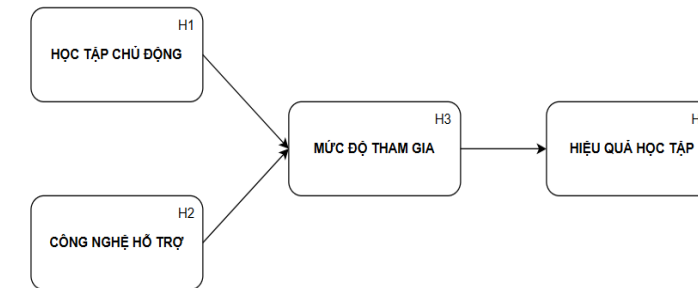
2.2.3. Mô hình khái niệm đề xuất

Mô hình nghiên cứu (Hình 1) mô tả mối quan hệ nhân quả giữa ba nhóm biến chính:

- Biến độc lập: Học tập chủ động và công nghệ hỗ trợ.

- Biến trung gian: Mức độ tham gia (bao gồm hành vi, nhận thức và cảm xúc).

- Biến phụ thuộc: Hiệu quả học tập (điểm, năng lực hợp tác, động lực học tập).



Hình 1. Mô hình nghiên cứu đề xuất

2.3. Phương pháp nghiên cứu

2.3.1. Thiết kế nghiên cứu

Nghiên cứu sử dụng thiết kế hỗn hợp, kết hợp dữ liệu định lượng và định tính để đánh giá toàn diện hiệu quả của mô hình “*học tập chủ động có công nghệ hỗ trợ*”. Phương pháp này cho phép đối chiếu, bổ sung và tăng độ tin cậy cho các phát hiện nghiên cứu.

(1) Thành phần định lượng

Phân định lượng được thực hiện thông qua khảo sát bằng bảng hỏi Likert 5 mức, kế thừa khung đo học tập của Fredricks et al. (2004), gồm ba hợp phần: hành vi, nhận thức, cảm xúc. Dữ liệu định lượng được xử lý bằng SPSS với các kỹ thuật thống kê mô tả, kiểm tra độ tin cậy (Cronbach's Alpha), phân tích nhân tố khám phá (EFA), tương quan Pearson và hồi quy tuyến tính nhằm phân tích mối quan hệ giữa các biến nghiên cứu.

(2) Thành phần định tính

Thành phần định tính được thu thập qua:

- Phỏng vấn bán cấu trúc 10 giảng viên và nhóm sinh viên đại diện các ngành.

- Ghi nhận trải nghiệm học tập của sinh viên tại nhiều học phần có ứng dụng công nghệ (LMS, mô phỏng kỹ thuật, Kahoot, Padlet, VR/AR, AI trợ giảng...).

Dữ liệu được xử lý bằng phân tích chủ đề nhằm làm rõ các mô-típ về động lực học tập, mức độ tham gia, sự phù hợp của công nghệ và những yếu tố tác động đến hiệu quả học tập.

(3) Cách thức tiếp cận mô hình

Nghiên cứu khai thác trải nghiệm thực tế của sinh viên trong nhiều học phần kỹ thuật khác nhau nơi công nghệ được sử dụng:

LMS, mô phỏng kỹ thuật số, phòng thí nghiệm ảo, phần mềm chuyên ngành, công cụ tương tác và AI hỗ trợ học tập. Cách tiếp cận này phản ánh bối cảnh triển khai công nghệ thực tế tại các trường đại học kỹ thuật, từ đó tăng độ khái quát và giá trị thực

tiên của nghiên cứu.

2.3.2. Đối tượng và mẫu khảo sát

Đối tượng khảo sát là sinh viên đang theo học các ngành kỹ thuật tại Trường Đại học Công nghệ Đông Á và một số cơ sở đào tạo có chương trình tương đồng. Để bảo đảm tính đại diện cho các lĩnh vực kỹ thuật, nghiên cứu thu thập dữ liệu từ sinh viên thuộc năm ngành: Công nghệ thông tin, Cơ điện tử, Công nghệ kỹ thuật Ô tô, Công nghệ kỹ thuật Điều khiển - Tự động hóa và Công nghệ kỹ thuật Điện - Điện tử.

Mẫu khảo sát được xác định theo phương pháp lấy mẫu phân tầng, dựa trên ngành đào tạo và năm học, nhằm phân bổ đều số lượng sinh viên giữa các nhóm. Tổng cộng 480 phiếu hợp lệ được thu thập qua biểu mẫu trực tuyến với các trường thông tin bắt buộc và bộ lọc ngành/năm học, giúp giảm thiểu sai lệch và bảo đảm tính chính xác của dữ liệu. Quy mô mẫu này đáp ứng yêu cầu tối thiểu cho phân tích nhân tố khám phá (EFA) và hồi quy đa biến, bảo đảm tỷ lệ quan sát/

biến đo lường ≥ 10 theo khuyến nghị của Hair et al. (2019).

Mẫu khảo sát bao gồm sinh viên từ năm thứ nhất đến năm thứ ba, phản ánh sự khác biệt về trải nghiệm học tập và mức độ tiếp cận công nghệ. Ngoài dữ liệu định lượng, nghiên cứu tiến hành phỏng vấn 10 giảng viên giảng dạy học phần kỹ thuật đại cương và cơ sở ngành để bổ sung dữ liệu định tính, qua đó làm rõ mức độ khả thi và các yếu tố tác động đến hiệu quả của mô hình học tập chủ động kết hợp công nghệ hỗ trợ.

Cách lựa chọn mẫu đa ngành và đa trình độ giúp nâng cao tính đại diện và khả năng khái quát của kết quả nghiên cứu.

2.3.3. Công cụ và quy trình thu thập dữ liệu

Dữ liệu nghiên cứu được thu thập bằng hai nhóm công cụ: bảng hỏi định lượng và phỏng vấn - quan sát định tính, nhằm bảo đảm dữ liệu vừa có độ bao quát, vừa phản ánh chiều sâu trải nghiệm của người học.

(1) Công cụ định lượng

Bảng hỏi trực tuyến (Google Forms) gồm ba phần chính:

- Thông tin chung: ngành học, năm học, kinh nghiệm sử dụng công nghệ và mức độ từng tham gia các học phần có ứng dụng học tập chủ động.

- Thang đo mức độ tham gia học tập kế thừa Fredricks et al. (2004) với ba hợp phần: hành vi, nhận thức, cảm xúc (Likert 1-5).

- Thang đo hiệu quả học tập: mức độ hiểu bài, khả năng vận dụng, hợp tác và tính chủ động.

- Thang đo đánh giá công nghệ hỗ trợ dựa trên mô hình TAM (Davis, 1989), gồm tính hữu ích và mức độ dễ sử dụng.

Bảng hỏi được chuyên gia góp ý và chỉnh sửa trước khi phát hành nhằm đảm bảo độ rõ ràng và giá trị nội dung.

(2) Công cụ định tính

- Phỏng vấn bán cấu trúc với sinh viên và giảng viên để khai thác trải nghiệm học tập, mức độ phù hợp của công nghệ và những thách thức khi triển khai.

- Quan sát lớp học theo bảng tiêu chí chuẩn hóa, tập trung vào mức độ tham gia,

hợp tác nhóm và cách tích hợp công nghệ vào hoạt động học.

Dữ liệu phỏng vấn được xử lý bằng phân tích chủ đề.

(3) Quy trình thu thập dữ liệu

Bước 1 - Chuẩn bị: thiết kế bảng hỏi, xin ý kiến chuyên gia và thử nghiệm trên nhóm nhỏ để chỉnh sửa từ ngữ và cấu trúc.

Bước 2 - Phát hành khảo sát: gửi bảng hỏi đến sinh viên thuộc 5 ngành kỹ thuật; hệ thống thiết lập bắt buộc trả lời đầy đủ để bảo đảm tính hợp lệ.

Bước 3 - Thu thập dữ liệu định tính: tiến hành phỏng vấn và quan sát nhằm bổ sung và giải thích kết quả định lượng.

2.3.4. Phương pháp xử lý dữ liệu

(1) Xử lý dữ liệu định lượng: bằng phần mềm SPSS 26.0 theo các bước:

- Thống kê mô tả (tần suất, trung bình, độ lệch chuẩn) cho đặc điểm mẫu, thang đo.

- Kiểm định độ tin cậy bằng Cronbach's Alpha ($\alpha \geq 0,78$; hệ số tương quan biến - tổng $\geq 0,30$).

- Phân tích nhân tố khám phá (EFA) với KMO $\geq 0,70$, Bartlett có ý nghĩa ($p < 0,05$), tải nhân tố $\geq 0,50$.

- Phân tích tương quan Pearson và hồi quy tuyến tính đa biến để kiểm định các giả thuyết H1-H4; báo cáo các chỉ số β , t, p, R^2 và VIF.

(2) Xử lý dữ liệu định tính: được phân tích theo phương pháp phân tích chủ đề: mã hóa các ý chính, nhóm thành chủ đề (trải nghiệm học tập, vai trò công nghệ, khó khăn, đề xuất...) và đối chiếu với kết quả định lượng để tăng chiều sâu diễn giải.

2.4. Kết quả nghiên cứu

2.4.1. Đặc điểm mẫu khảo sát và thống kê mô tả

Nghiên cứu thu thập được 480 phiếu khảo sát hợp lệ từ sinh viên năm nhất đến năm ba thuộc năm ngành kỹ thuật. Tỷ lệ phân bố theo ngành như sau: Công nghệ thông tin (27,3%), Cơ điện tử (22,1%), Công nghệ kỹ thuật Ô tô (20,4%), Công nghệ kỹ thuật Điều khiển - Tự động hóa (16,9%) và Công nghệ kỹ thuật Điện - Điện tử (13,3%). Về giới tính, 71,5% là nam và 28,5% là nữ,

phù hợp với đặc thù cơ cấu người học trong các ngành kỹ thuật tại Việt Nam. Về năm học, 38% là sinh viên năm nhất, 34% năm hai và 28% năm ba, đảm bảo tính đa dạng về mức độ trải nghiệm học tập và mức độ tiếp cận công nghệ.

Kết quả thống kê mô tả cho thấy 62,8% sinh viên đã từng tham gia các hoạt động học tập có ứng dụng công nghệ trước đó; đồng thời 58,2% tự đánh giá mức độ thành thạo công nghệ của mình ở mức khá hoặc cao. Đây là cơ sở quan trọng cho thấy sinh viên có nền tảng thuận lợi khi tiếp cận mô hình học tập chủ động kết hợp công nghệ hỗ trợ.

2.4.2. Mức độ tham gia học tập của sinh viên

Phân tích Cronbach's Alpha cho thấy các thang đo đều đạt độ tin cậy cao (α từ 0,79 đến 0,88). Kết quả EFA xác nhận cấu trúc ba thành phần của mức độ tham gia học tập.

Điểm trung bình các hợp phần mức độ tham gia như sau:

- **Tham gia hành vi:** Mean = 3,78; SD = 0,64

- **Tham gia nhận thức:** Mean = 3,85; SD = 0,58

- **Tham gia cảm xúc:** Mean = 3,67; SD = 0,72

Nhìn chung, sinh viên tham gia ở mức trung bình khá trở lên; các mục liên kết đến nhóm hợp tác và chuẩn bị trước giờ học có điểm cao nhất. Quan sát lớp học cho thấy các tham số tăng cường trong các hoạt động sử dụng Kahoot, Padlet, mô phỏng kỹ thuật.

2.4.3. Kết quả học tập

Sinh viên tự đánh giá khả năng sử dụng kiến thức và giải quyết vấn đề ở mức độ khác (Mean từ 3,75 - 3,82). Nhóm kỹ năng hợp nhất được đánh giá cao nhất (Mean = 3,88). Hồi quy tuyến tính cho thấy mức độ tham gia học tập ảnh tích cực và có ý nghĩa thống kê đến hiệu quả học tập ($\beta = 0,46$; $p < 0,001$); trong đó tham gia nhận thức là yếu tố dự báo mạnh nhất.

2.4.4. Mức độ hài lòng và đánh giá công nghệ hỗ trợ

Sinh viên có mức độ hài lòng cao đối với

việc sử dụng công nghệ hỗ trợ trong học tập:

- **Tính hữu ích:** Mean = 3,94

- **Mức độ dễ sử dụng:** Mean = 3,89

- **Hài lòng chung:** Mean = 4,02

Các công cụ được đánh giá cao nhất là:

- **Kahoot:** tạo phản hồi tức thời và tăng hứng thú (điểm đánh giá 4,15)

- **Padlet:** hỗ trợ thảo luận, chia sẻ ý tưởng (4,08)

- **Mô phỏng Labster/MATLAB Simulink:** tăng khả năng hiểu bài, nhất là nội dung chuyên môn (4,20)

Sinh viên cho rằng công nghệ giúp lớp học sinh động hơn, dễ theo dõi nội dung, đồng thời tạo cơ hội tham gia nhiều hơn so với các giờ học truyền thống.

2.4.5. Hiệu quả tổng thể của mô hình học tập chủ động kết hợp công nghệ

Kết quả phân tích cho thấy:

- Học tập chủ động và công nghệ hỗ trợ có tương quan mạnh với mức độ tham gia học tập ($r = 0,52$; $p < 0,001$).

- Mức độ tham gia là biến trung gian quan trọng, ảnh hưởng đáng kể đến hiệu quả học tập ($\beta = 0,46$; $p < 0,001$).

- Sinh viên thể hiện mức độ hài lòng cao, cho thấy mô hình có tính khả thi và phù hợp với đặc thù các ngành kỹ thuật.

Phân tích định tính củng cố kết quả định lượng: Sinh viên mô tả các hoạt động học tập có công nghệ là “dễ hiểu hơn”, “giảm nhầm lẫn”, “tăng tương tác”, trong khi giảng viên ghi nhận sự cải thiện rõ rệt ở mức độ hợp tác và nỗ lực tự học của sinh viên.

3. TRAO ĐỔI VÀ KẾT LUẬN

3.1. Trao đổi

Kết quả nghiên cứu cho thấy mô hình học tập chủ động kết hợp công nghệ hỗ trợ có tác động tích cực và nhất quán đối với sinh viên các ngành kỹ thuật. Trước hết, mức độ tham gia học tập của sinh viên được cải thiện rõ rệt ở cả ba khía cạnh hành vi, nhận thức và cảm xúc, phù hợp với các nghiên cứu quốc tế khẳng định vai trò của môi trường học tập tương tác cao trong việc thúc đẩy sự chủ động của người học trong việc tiếp thu và xử lý kiến thức (Freeman et al., 2014; Bond et al., 2021; Greenwald et

al., 2024).

Thứ hai, phân tích hồi quy cho thấy mức độ tham gia học tập, đặc biệt là tham gia nhận thức, là yếu tố dự báo quan trọng nhất đối với kết quả học tập. Điều này cho thấy sinh viên kỹ thuật học hiệu quả hơn khi được đặt vào các tình huống đòi hỏi suy luận, phân tích và vận dụng kiến thức, phù hợp với định hướng của khung CDIO và chuẩn ABET về đào tạo kỹ sư/cử nhân dựa trên năng lực.

Thứ ba, sinh viên cũng thể hiện mức độ hài lòng cao đối với công nghệ hỗ trợ. Các công cụ như Kahoot, Padlet, LMS và phần mềm mô phỏng giúp tăng tính trực quan, tạo phản hồi tức thời và hỗ trợ linh hoạt trong học tập, góp phần nâng cao động lực và khả năng hiểu sâu nội dung học tập (OECD, 2025; UNESCO, 2024).

Đáng chú ý, nghiên cứu cho thấy sự khác biệt về vai trò giữa các công cụ tương tác đơn giản và công nghệ AI trong hỗ trợ học tập. Các công cụ tương tác như Kahoot, Padlet hay Mentimeter... chủ yếu thúc đẩy tham gia hành vi và cảm xúc thông qua trò chơi hóa và thảo luận mở và phản hồi tức thời, góp phần tạo không khí lớp học tích cực và tăng mức độ gắn kết. Trong khi đó, các công cụ AI trợ giảng (như ChatGPT, AI Tutor, hệ thống gợi ý học tập...) hỗ trợ mạnh hơn cho tham gia nhận thức nhờ khả năng giải thích, gợi ý và cá nhân hóa quá trình học tập. Các nghiên cứu gần đây cũng chỉ ra rằng AI đặc biệt hiệu quả trong việc thúc đẩy học tập tự định hướng và tư duy phân tích ở sinh viên STEM (Zawacki-Richter et al., 2019; Greenwald et al., 2024; Tan & Idris, 2025).

Phân tích định tính tiếp tục củng cố các kết quả định lượng, cho thấy sinh viên tự tin hơn trong thảo luận và phản biện khi có sự hỗ trợ của công nghệ. Tuy nhiên, việc triển khai mô hình vẫn gặp một số thách thức liên quan đến hạ tầng công nghệ và năng lực thiết kế bài giảng của giảng viên. Nhìn chung, mô hình học tập chủ động kết hợp công nghệ, trong đó AI và công cụ tương tác hỗ trợ lẫn nhau, được đánh giá là phù hợp với bối cảnh đào tạo kỹ thuật tại Việt Nam và cần được triển khai một cách hệ thống, bền vững.

3.2. Kết luận

Nghiên cứu đã cung cấp bằng chứng định lượng và định tính cho thấy mô hình học tập chủ động kết hợp công nghệ hỗ trợ có hiệu quả rõ rệt trong việc nâng cao mức độ tham gia học tập và kết quả học tập của sinh viên các ngành kỹ thuật. Công nghệ hỗ trợ đóng vai trò trung gian quan trọng giúp tăng tương tác, mở rộng cơ hội thực hành và thúc đẩy động lực học tập. Mô hình đề xuất đã chứng minh tính khả thi, phù hợp với yêu cầu đổi mới đào tạo kỹ thuật trong thời đại chuyển đổi số.

Từ các kết quả nghiên cứu, có thể khẳng định rằng việc tích hợp công nghệ vào học tập chủ động không chỉ cải thiện kết quả học tập mà còn góp phần hình thành các năng lực nghề nghiệp quan trọng như tư duy kỹ thuật, khả năng giải quyết vấn đề và hợp tác nhóm.

3.3. Khuyến nghị

(1) Đối với nhà trường:

- Đầu tư và chuẩn hóa hạ tầng EdTech: đường truyền, phòng học thông minh, phòng thí nghiệm ảo, LMS thế hệ mới.
- Tổ chức các khóa bồi dưỡng về phương pháp học tập chủ động và năng lực công nghệ sư phạm cho giảng viên.

(2) Đối với giảng viên

- Thiết kế học phần theo hướng linh hoạt tăng cường hoạt động giải quyết vấn đề, thảo luận nhóm, mô phỏng và trải nghiệm thực hành.
- Tích hợp công nghệ một cách có chiến lược, đúng mục đích: công cụ tương tác cho kích hoạt lớp học, mô phỏng cho thực hành, AI cho phản hồi và hỗ trợ cá nhân hóa.

(3) Đối với sinh viên

- Chủ động tương tác và khai thác công nghệ nhằm phát triển năng lực tự học và kỹ năng số.
- Tích cực tham gia các hoạt động nhóm để nâng cao khả năng hợp tác và giải quyết vấn đề.

3.4. Hạn chế và hướng nghiên cứu tiếp theo

Mặc dù đạt được các kết quả có ý nghĩa, nghiên cứu vẫn tồn tại một số hạn chế.

Trước hết, dữ liệu định lượng được thu thập chủ yếu thông qua bảng hỏi tự báo cáo (self-reported) của sinh viên, do đó kết quả có thể chịu ảnh hưởng của thiên lệch nhận thức cá nhân và xu hướng đánh giá tích cực. Bên cạnh đó, phạm vi khảo sát tập trung vào một cơ sở đào tạo và chưa phân tích sự khác biệt giữa các học phần kỹ thuật có đặc trưng nội dung và mức độ ứng dụng công nghệ khác nhau, điều này có thể ảnh hưởng đến khả năng khái quát hóa kết quả. Ngoài ra, phương pháp phân tích chủ yếu dừng ở các kỹ thuật thống kê mô tả, kiểm định độ tin cậy, EFA và hồi quy tuyến tính, chưa xem xét sâu các mối quan hệ cấu trúc.

Từ những hạn chế trên, các hướng nghiên cứu tiếp theo bao gồm: (1) mở rộng khảo sát sang nhiều trường và nhiều học phần chuyên ngành để tăng tính đại diện; (2) kết hợp dữ liệu hành vi học tập từ LMS và nền tảng AI để giảm thiên lệch tự báo cáo; (3) ứng dụng các mô hình phân tích nâng cao như SEM, mô hình trung gian - điều tiết để làm rõ cơ chế tác động của công nghệ và mức độ tham gia; (4) nghiên cứu sâu vai trò riêng của AI (AI Tutor, trợ giảng ảo, cá nhân hóa học tập) so với công nghệ hỗ trợ truyền thống.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Bond, M., Buntins, K., Bedenlier, S., Zawacki-Richter, O., & Kerres, M. (2021). Mapping research in student engagement and educational technology in higher education: A systematic evidence map. *Educational Research Review*, 33, 100391. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2021.100391>
- Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319–340. <https://doi.org/10.2307/249008>
- Fredricks, J. A., Blumenfeld, P. C., & Paris, A. H. (2004). School engagement: Potential of the concept, state of the evidence. *Review of Educational Research*, 74(1), 59–109. <https://doi.org/10.3102/00346543074001059>
- Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt,

H., & Wenderoth, M. P. (2014). Active learning increases student performance in STEM courses. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(23), 8410–8415. <https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111>

Greenwald, E., Traxler, A., & Brewster, E. (2024). Active learning in engineering education: New evidence in large-enrollment STEM courses. *Journal of Engineering Education*, 113(2), 245–267. <https://doi.org/10.1002/jee.20500>

Kolb, D. A. (1984). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. Prentice Hall.

OECD (2025). Education at a Glance 2025: OECD indicators. OECD Publishing. https://www.oecd.org/en/publications/education-at-a-glance-2025_1c0d9c79-en.html

Prince, M. J., & Felder, R. M. (2020). Active learning: A review of the research update for 2020. *Advances in Engineering Education*, 8(4), 1–20.

Radianti, J., Majchrzak, T. A., Fromm, J., & Wohlgenannt, I. (2020). A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. *Computers & Education*, 147, 103778. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778>

Tan, C., & Idris, N. (2025). Active learning strategies and problem-solving performance in engineering education. *International Journal of Engineering Education*, 41(1), 35–48.

UNESCO (2024). *AI and the future of education: Guidance for policy and practice*. Publishing.

Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.

Zawacki-Richter, O., Marín, V. I., Bond, M., & Gouverneur, F. (2019). Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 16(1), 39. <https://doi.org/10.1186/s41239-019-0171-0>

NGHIÊN CỨU TỐI ƯU HÓA CÁC THAM SỐ BỘ ĐIỀU KHIỂN
PID TRONG HỆ TRUYỀN ĐỘNG ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU TRÊN
CƠ SỞ ỨNG DỤNG THUẬT TOÁN DI TRUYỀN TỰ THÍCH NGHI

Nguyễn Thế Hồng^{1*}, Phạm Trung Dũng²

¹Viện Tên lửa, Viện Khoa học và Công nghệ quân sự

²Viện Tên lửa và Kỹ thuật điều khiển, Học viện Kỹ thuật Quân sự

*Email: thehong.mta@gmail.com

TÓM TẮT

Bộ điều khiển PID là bộ điều khiển được sử dụng rộng rãi trong các hệ truyền động điện, tuy nhiên hiệu năng phụ thuộc mạnh vào việc lựa chọn các tham số K_p , K_i , K_d . Các phương pháp điều chỉnh kinh điển thường khó đạt chất lượng tối ưu khi hệ vận hành trong điều kiện tải biến đổi hoặc phi tuyến. Việc áp dụng thuật toán di truyền giúp cải thiện đáng kể thời gian đáp ứng và giảm vọt lố so với cách tinh chỉnh kinh điển. Tuy nhiên, khi sử dụng thuật toán di truyền truyền thống, thuật toán dễ bị hội tụ sớm vào cực trị cục bộ. Để khắc phục điều này, bài báo đề xuất áp dụng thuật toán di truyền tự thích nghi để tối ưu bộ điều khiển PID cho hệ truyền động động cơ một chiều. Kết quả mô phỏng cho thấy PID tối ưu bằng thuật toán đề xuất có chất lượng tổng thể tốt hơn và ổn định hơn so với các bộ điều khiển PID truyền thống và PID điều chỉnh bằng GA thông thường.

Từ khóa: Động cơ DC, PID, Tự thích nghi, Thuật toán di truyền.

ABSTRACT

Proportional–Integral–Derivative (PID) controllers are extensively applied in electric drive systems due to their simple structure and ease of implementation. However, the control performance strongly depends on the appropriate tuning of the controller parameters K_p , K_i , and K_d . Classical tuning techniques often fail to provide satisfactory performance when the system operates under varying load conditions or exhibits nonlinear characteristics. In recent years, genetic algorithms (GAs) have been employed to improve the transient response and reduce overshoot compared to conventional tuning methods. Nevertheless, standard GAs suffer from premature convergence, which may lead to suboptimal solutions. To overcome this drawback, this paper proposes an adaptive genetic algorithm for the optimal tuning of a PID controller applied to a DC motor drive system. The adaptive mechanism dynamically adjusts the genetic operators to enhance population diversity and avoid convergence to local optima. Simulation results validate the effectiveness of the proposed approach, demonstrating improved transient performance, reduced overshoot, and enhanced robustness compared with both conventionally tuned PID controllers and PID controllers optimized using a standard genetic algorithm.

Keywords: DC motor, PID controller, self-adaptive, genetic algorithm.

Ngày nhận bài: 25/11/2025; Ngày sửa bài: 16/12/2025; Ngày duyệt đăng: 20/12/2025

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Động cơ điện một chiều (DC) đóng vai trò quan trọng trong nhiều hệ thống công nghiệp hiện đại nhờ khả năng điều khiển tốc độ và mô-men linh hoạt, hiệu suất cao, chi phí hợp lý và khả năng thích nghi tốt với tải khác nhau [1]. Với đặc tính phản hồi nhanh, mô-men khởi động lớn và khả năng điều chỉnh tốc độ chính xác bằng các cấu trúc điều khiển đơn giản, động cơ DC được ứng dụng rộng rãi trong robot công nghiệp, băng chuyền sản xuất và các hệ truyền động yêu cầu độ chính xác cao. Do đó, động cơ DC vẫn giữ vị trí thiết yếu trong điều khiển chuyên động và tự động hóa hiện đại.

Trong các hệ servo công nghiệp, sự thay đổi tham số, ma sát và nhiễu ngoại cảnh có thể gây ảnh hưởng đáng kể đến chất lượng điều khiển tốc độ [2]. Vì vậy, bài toán điều khiển tốc độ chính xác và ổn định của động cơ DC khi tải thay đổi luôn là mục tiêu quan trọng nhằm đảm bảo tính an toàn và độ tin cậy của hệ thống [3]. Trong số các chiến lược điều khiển hiện có, bộ điều khiển PID vẫn là lựa chọn phổ biến nhất trong công nghiệp; hơn 90% các vòng điều khiển sử dụng PID nhờ cấu trúc đơn giản, độ tin cậy cao và khả năng triển khai dễ dàng [4], [5]. Mặc dù vậy, chất lượng điều khiển phụ

thuộc mạnh vào việc lựa chọn các tham số PID, và các phương pháp cổ điển thường chỉ cho kết quả gần đúng, dễ gây dao động và vọt lố [6].

Nhiều phương pháp hiệu chỉnh PID đã được phát triển, bao gồm các phương pháp cổ điển, điều khiển dựa trên mô hình, các phương pháp phi mô hình như logic mờ và mạng nơ-ron, cũng như các thuật toán metaheuristic [6], [7], [8]. Trong đó, các thuật toán metaheuristic như giải thuật di truyền (GA), tối ưu bầy đàn (PSO) hay tiến hóa vi phân (DE) cho thấy tiềm năng lớn nhờ khả năng tìm kiếm toàn cục và không yêu cầu mô hình chính xác. Tuy nhiên, thuật toán di truyền cổ điển vẫn tồn tại nhược điểm hội tụ sớm do sử dụng các tham số lai ghép và đột biến cố định, làm giảm tính đa dạng quần thể và dẫn đến nghiệm tối ưu cục bộ [9].

Để khắc phục những hạn chế này, một số nghiên cứu đã đề xuất thuật toán di truyền thích nghi (AGA), trong đó xác suất lai ghép và đột biến được điều chỉnh thích nghi trong quá trình tiến hóa của quần thể [9]. Dưới đây là bảng tổng hợp các phương pháp điều chỉnh thích nghi tham số của GA:

Bảng 1. Tổng hợp các hướng thực hiện thuật toán di truyền thích nghi điển hình

TT	AGA điển hình	Ưu điểm	Nhược điểm
1	Xác suất lai ghép/đột biến được điều chỉnh đồng thời dựa trên sự tiến hóa của quần thể hoặc hàm đặt trước [10], [11].	Cải thiện tính linh hoạt thuật toán, có thể tích hợp kiến thức chuyên gia vào bài toán thông qua việc thiết kế quy luật biến đổi các tham số của GA; dễ dàng tích hợp vào bài toán vì quy luật thích nghi đã biết trước nên có thể dễ dàng hiện thực hóa.	Việc lựa chọn quy luật biến thiên của xác suất lai ghép và xác suất đột biến mang tính chất chủ quan, phụ thuộc vào từng bài toán cụ thể.
2	Xác suất lai ghép/đột biến được thích nghi theo entropy của quần thể [12], [13], [14].	Chiến lược thích nghi có cơ sở vững chắc (entropy của quần thể). Do đó việc cân bằng giữa khả năng khai thác và khám phá của thuật toán được thực hiện một cách có hệ thống.	Chi phí tính toán lớn; entropy đôi khi không phản ánh hoàn toàn chính xác trạng thái hội tụ của quần thể; các nghiên cứu theo hướng này thường không áp dụng cho bài toán điều khiển.
3	Xác suất lai ghép/đột biến được thích nghi theo luật mờ [15], [16].	Xử lý phi tuyến tốt, thích nghi linh hoạt.	Thiết kế hệ mờ để phụ thuộc hoàn toàn vào kinh nghiệm chuyên gia; tăng chi phí tính toán và độ phức tạp cài đặt.
4	Kết hợp các thuật toán metaheuristic [17], [18].	Tận dụng được thế mạnh bổ trợ giữa hai cơ chế tối ưu: GA có khả năng khai phá không gian nghiệm toàn cục tốt, trong khi các thuật toán metaheuristic khác như PSO hội tụ nhanh về vùng nghiệm tối ưu.	Tăng độ phức tạp tính toán; cấu trúc lai thường được xây dựng theo từng bài toán cụ thể nên khó chuẩn hóa thành một mô hình tổng quát.

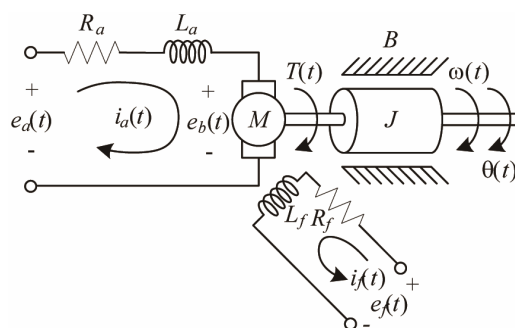
TT	AGA điển hình	Ưu điểm	Nhược điểm
5	Xác suất đột biến/lai ghép thích nghi theo độ dốc của hàm thích nghi [19], [20].	Thuật toán dễ hiểu, dễ cài đặt, bám sát tiến trình hội tụ, thường cải thiện được độ tin cậy và chất lượng nghiệm so với GA tham số cố định.	Giai đoạn đầu có gradient nhỏ, dẫn đến khó thoát khỏi cực trị địa phương; chất lượng thuật toán phụ thuộc mạnh vào độ nhiễu của hàm thích nghi.
	Các tham số của GA tự thích nghi bằng cách đưa chúng vào cấu trúc gene của quần thể [21], [22].	Các tham số tự tiến hóa mà không cần luật thủ công; tính linh hoạt cao và phù hợp với bài toán không biết rõ tham số tối ưu; khả năng thoát tối ưu cục bộ tốt hơn GA chuẩn.	Tăng khối lượng tính toán do tăng kích thước gene; hiện nay, có rất ít nghiên cứu áp dụng cho bộ điều khiển PID của động cơ DC.

Từ bảng trên có thể thấy phần lớn các AGA hiện tại được điều chỉnh bằng luật bên ngoài và không tiến hóa với vai trò như một gene. Trong khi đó hướng tiếp cận AGA theo mô hình tự thích nghi có tiềm năng cao trong duy trì đa dạng di truyền và khả năng tối ưu toàn cục mới chủ yếu dừng lại ở việc thử nghiệm đối với các hàm số học điển hình; vẫn rất hiếm được áp dụng trong tối ưu PID cho động cơ DC, đặc biệt dưới điều kiện tải biến thiên. Do đó, bài báo đề xuất thuật toán di truyền tự thích nghi SAGA (Self-Adaptive Genetic Algorithm) để giải quyết hiệu quả bài toán điều khiển tốc độ động cơ DC trong môi trường công nghiệp thông qua tối ưu bộ hệ số của bộ điều khiển PID. Kết quả bài báo sẽ được kiểm chứng thông qua mô phỏng trên phần mềm MATLAB.

2. GIẢI QUYẾT VẤN ĐỀ

2.1. Mô hình động cơ DC

Động cơ điện một chiều (DC) có thể được phân loại theo mô hình toán học (dựa trên phương thức kích từ trường) thành bốn loại chính: động cơ DC kích từ độc lập, động cơ DC kích từ song song, động cơ DC kích từ nối tiếp, và động cơ DC nam châm vĩnh cửu [23]. Trong số các loại trên, động cơ DC kích từ độc lập được xem là loại được sử dụng phổ biến nhất trong các hệ truyền động công nghiệp hiện nay nhờ ưu điểm có thể điều khiển độc lập điện áp phản ứng và dòng kích từ để đáp ứng yêu cầu điều khiển chính xác trong nhiều ứng dụng công nghiệp [24]. Sơ đồ cấu trúc của một động cơ điện DC kích từ độc lập được cho trên Hình 1 [25], [26].



Hình 1. Sơ đồ cấu trúc động cơ DC kích từ độc lập

Trong đó:

$e_a(t)$ là điện áp cấp vào phần ứng; $i_a(t)$ là dòng điện phần ứng; R_a là điện trở phần ứng;

L_a là điện cảm phần ứng; $e_b(t)$ là sức điện động phản kháng;

M là phần điện-cơ của động cơ; $T(t)$ là mô-men điện từ sinh ra; J là mô-men quán tính;

B là hệ số ma sát nhớt; $\omega(t)$ là tốc độ góc trục động cơ; $\theta(t)$ là vị trí góc trục động cơ;

$e_f(t)$ là điện áp kích từ cấp cho cuộn kích từ; $i_f(t)$ là dòng kích từ;

R_f là điện trở cuộn kích từ; L_f là điện cảm cuộn kích từ.

Theo định lý Krichhoff, ta có phương trình cho điện áp mạch phần cứng [27]:

$$e_a(t) = R_a i_a(t) + L_a \frac{di_a(t)}{dt} + e_b(t) \quad (1)$$

trong đó sức điện động cảm ứng

$$e_b(t) = K_e \Phi(t) \omega(t) = K_e k_f i_f(t) \omega(t)$$

với $\Phi(t)$ là từ thông kích từ.

Ta có phương trình điện cho mạch kích từ [28]:

$$e_f(t) = R_f i_f(t) + L_f \frac{di_f(t)}{dt} \quad (2)$$

Phương trình cơ học của động cơ DC xuất phát từ phương trình động lực quay của Newton. Theo [29] ta có phương trình mô tả cân bằng mô-men:

$$J \frac{d\omega(t)}{dt} + B\omega(t) = T(t) \quad (3)$$

trong đó $T(t)$ là mô-men điện từ sinh ra và được xác định bởi:

$$T(t) = K_t \Phi(t) i_a(t) = K_t k_f i_f(t) i_a(t) \quad (4)$$

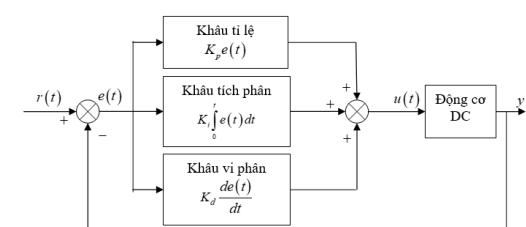
Thực hiện biến đổi Laplace các phương trình trên ta nhận được hàm truyền vòng hở của động cơ DC như sau:

$$G_m(s) = \frac{K_t}{(L_a s + R_a)(J s + B) + K_e K_t} \quad (5)$$

2.2. Thiết kế bộ điều khiển PID bởi thuật toán SAGA

Bộ điều khiển PID có ba thành phần: tác động tỉ lệ (P) để giảm nhanh sai lệch tức thời, tác động tích phân (I) để loại bỏ sai lệch tĩnh ở trạng thái xác lập và thành phần đạo hàm (D) phản ứng với tốc độ biến thiên của sai lệch, giúp cải thiện ổn định của hệ thống [5].

Dưới đây là sơ đồ cấu trúc của vòng điều khiển động cơ DC sử dụng bộ điều khiển PID [5]:



Hình 2. Sơ đồ cấu trúc của vòng điều khiển động cơ DC sử dụng bộ điều khiển PID

Để thiết kế các hệ số K_p , K_i , K_d của bộ điều khiển PID có nhiều phương pháp khác nhau [5]. Tuy nhiên, như đã trình bày ở trên, bài báo sẽ sử dụng thuật toán SAGA để tối ưu bộ hệ số K_p , K_i , K_d . Trong đó, tham số được thích nghi là xác suất đột biến của thuật toán SAGA. GA cổ điển có rất nhiều tham số khác nhau ảnh hưởng tới chất lượng tổng thể của thuật toán. Với mục

đích là khắc phục nhược điểm hội tụ sớm vào cực trị cục bộ của GA cổ điển thì nhiều nghiên cứu kinh điển về GA đã chỉ ra rằng việc điều chỉnh động tham số đột biến giúp duy trì đa dạng di truyền và giảm nguy cơ hội tụ sớm, đồng thời cải thiện khả năng tiếp cận nghiệm toàn cục [30], [31]. Tuy nhiên, thay vì coi xác suất đột biến là một tham số ngoại lai đặt trước, nó sẽ được đưa vào cấu trúc gene và tiến hóa cùng quần thể để tạo ra một cơ chế thích nghi mang tính bản chất: mỗi cá thể không chỉ mang thông tin về lời giải (ở đây là bộ tham số PID) mà còn mang chiến lược đột biến phù hợp nhất với bản thân nó. Nếu một giá trị xác suất đột biến P_m giúp cá thể tạo ra thế hệ con chất lượng tốt hơn, chiến lược đột biến đó sẽ được bảo tồn và lan truyền. Khi đó, quần thể tự hình thành sự cân bằng nội tại giữa khai thác (duy trì cấu trúc lời giải tốt) và khám phá (mở rộng không gian tìm kiếm), mà không cần một quy tắc điều chỉnh thủ công. Dưới đây là các bước thực hiện thuật toán SAGA có xác suất đột biến tự thích nghi để tối ưu bộ ba hệ số K_p , K_i , K_d :

i) Mô tả nhiệm vụ sắc thể và hàm thích nghi

Giả sử mỗi cá thể trong quần thể được mã hóa dạng $X = [K_p, K_i, K_d, P_m]$, trong đó K_p , K_i , K_d là tham số bộ điều khiển PID; P_m là xác suất đột biến riêng của từng cá thể (gene tự thích nghi).

Hàm thích nghi được xây dựng căn cứ vào các mục tiêu cần tối ưu. Trong nhiều bài toán điều khiển nói chung, tổng tích lũy của tích giữa thời gian với sai số giữa đầu ra mong muốn với đầu ra thực tế của hệ thống (ITAE) và tổng tích lũy bình phương tín hiệu điều khiển thường được chọn làm chỉ tiêu chất lượng của hệ thống [6]. Ngoài ra, đối với đáp ứng bước trong miền thời gian của động cơ DC, ta còn quan tâm tới độ vọt lố và thời gian xác lập bởi vì nó ảnh hưởng trực tiếp tới độ an toàn và tính đáp ứng nhanh của hệ thống. Bởi vì ta đều mong muốn các tham số đó càng nhỏ càng tốt; trong khi đó, mục tiêu của SAGA là khiến hàm thích nghi

càng lớn càng tốt. Do đó, hàm thích nghi được chọn dưới dạng sau:

$$Fitness = \frac{1}{w_1 \int t |e(t)| dt + w_2 \int u^2(t) dt + w_3 M_p + w_4 t_s} \quad (6)$$

trong đó $e(t)$ là sai số giữa đầu ra hệ thống và đầu ra mong muốn, $u(t)$ là tín hiệu điều khiển động cơ DC (đầu ra bộ điều khiển PID), M_p là độ vọt lố, t_s là thời gian xác lập. Các trọng số $w_1 = 1$, $w_2 = 0.01$, $w_3 = 1$, $w_4 = 1$ quyết định vai trò của từng thành phần trong quá trình tối ưu.

ii) Thuật toán SAGA

Bước 1: Khởi tạo

Khởi tạo ngẫu nhiên các bộ hệ số $X^k = [K_p^k, K_i^k, K_d^k, P_m^k]$ nằm trong dải cho phép, trong đó $k = 1..N$ (N là kích thước quần thể). Ứng với một bộ hệ số đó là một cá thể.

Bước 2: Đánh giá quần thể

Đối với mỗi cá thể X^k ta sẽ gán bộ 3 tham số $K_p^k, K_i^k, K_d^k, P_m^k$ cho bộ điều khiển PID. Sau đó tiến hành mô phỏng đáp ứng của hệ với tín hiệu đặt để từ đó tính giá trị của hàm thích nghi.

Bước 3: Thực hiện vòng lặp tiến hóa

Bước 3.1: Chọn lọc

Chọn lọc theo phương pháp sắp hạng tuyến tính. Phương pháp này chọn lọc theo thứ hạng của từng cá thể chứ không theo giá trị của hàm thích nghi nên ổn định hơn.

Bước 3.2: Lai ghép

Bài báo chọn phương pháp lai ghép $BLX - \alpha$ vì nó cân bằng tốt giữa khai thác giá trị tốt và khám phá vùng tiềm năng mới, rất phù hợp khi các tham số PID cần điều chỉnh chính xác nhưng vẫn phải vượt qua bẫy cực trị cục bộ. Để thực hiện lai ghép theo phương pháp này, ta chọn ngẫu nhiên hai cá thể bố mẹ lần lượt là $X_p^1 = [K_p^1, K_i^1, K_d^1, P_m^1]$ và $X_p^2 = [K_p^2, K_i^2, K_d^2, P_m^2]$. Với mỗi gene $j \in [K_p, K_i, K_d, P_m]$ ta tính $I_j = C_{j_{\max}} - C_{j_{\min}}$, trong đó $C_{j_{\min}} = \min(j_{X^1}, j_{X^2})$ và $C_{j_{\max}} = \max(j_{X^1}, j_{X^2})$.

Khi đó miền $BLX - \alpha$ mở rộng được xác định như sau: $L_j = C_{j_{\min}} - \alpha I_j$ và $U_j = C_{j_{\max}} + \alpha I_j$. Hai cá thể con sẽ được tạo ngẫu nhiên trong khoảng (L_j, U_j) theo phân

bố đều.

Bước 3.3: Đột biến thích nghi

Trong các phương pháp đột biến thì đột biến đa thức (Polynomial) là toán tử đột biến được thiết kế riêng cho phương pháp mã hóa gene bằng số thực, mô phỏng sự phân bố biến động theo “độ cong” điều khiển bằng tham số đột biến η_m (quy định mức độ đột biến). Đột biến đa thức đảm bảo tính chính xác vùng nghiệm tiềm năng và đồng thời duy trì khả năng thoát khỏi cực trị cục bộ. Giả sử một gene $j \in [j_{\min}, j_{\max}]$, ta có hệ số biến đổi δ_q như sau:

$$\delta_1 = \frac{j - j_{\min}}{j_{\max} - j_{\min}}; \quad \delta_2 = \frac{j_{\max} - j}{j_{\max} - j_{\min}} \quad (7)$$

Khởi tạo một giá trị ngẫu nhiên đều $u \in (0,1)$. Nếu $u \leq 0,5$ thì:

$$\delta_q = \left(2u + (1-2u)(1-\delta_1)^{\eta_m+1}\right)^{\frac{1}{\eta_m+1}} - 1 \quad (8)$$

Nếu $u > 0,5$ thì:

$$\delta_q = 1 - \left(2(1-u) + (1-2u)(1-\delta_2)^{\eta_m+1}\right)^{\frac{1}{\eta_m+1}} \quad (9)$$

Gene mới sau đột biến được xác định như sau: $j_{\text{new}} = j + \delta_q (j_{\max} - j_{\min})$ (10)

Tính thích nghi được thể hiện ở cấu trúc nhiễm sắc thể, tức là mỗi thể j có một xác suất đột biến P_{m_j} khác nhau. Các P_{m_j} này được sử dụng để đột biến chính ba gene còn lại của cá thể j đó. Do đó, mỗi cá thể có khả năng khám phá không gian nghiệm khác nhau. Qua các thế hệ, xác suất đột biến tốt kết hợp với các hệ số K_p, K_i, K_d tốt sẽ được chọn lọc và nhân bản. Ngoài ra, bản thân các xác suất đột biến cũng bị đột biến đa thức với một xác suất $P_{m_{base}} = 0,01$ đặt trước; đây chính là bước tạo ra các biến dị và tìm các xác suất đột biến P_{m_j} tốt hơn.

Bước 3.4: Kiểm tra điều kiện dừng

Ở bước này tiến hành kiểm tra điều kiện dừng của thuật toán. Nếu thỏa mãn, kết thúc thuật toán. Nếu không thỏa mãn, quay lại Bước 2 để đánh giá quần thể để vào Bước 3. Điều kiện dừng thường là khi quần thể tiến hóa đạt tới số thế hệ cực đại

hoặc khi hàm thích nghi biến đổi nhỏ hơn một ngưỡng nào đó liên tục trong một số thế hệ đặt trước.

Bước 4: Kết quả

Chọn cá thể tốt nhất $X^* = [K_p^*, K_i^*, K_d^*, P_m^*]$. Dùng K_p^*, K_i^*, K_d^* làm tham số bộ điều khiển PID; P_m^* là xác suất đột biến tối ưu mà SAGA tự học được.

2.3. Mô phỏng, kiểm chứng

2.3.1. Khởi tạo các điều kiện đầu

Để có thể mô phỏng, ta cần khởi tạo các giá trị cho các hệ số có trong các phương trình mô tả mô hình động cơ DC cũng như các tham số của thuật toán SAGA.

Đối với động cơ DC kích từ độc lập, ta coi là dòng kích từ không đổi nên từ thông Φ không đổi và mạch kích từ có thể được loại khỏi mô hình. Ta chỉ xét tới tốc độ ω . Khi đó hệ phương trình (1) và (3) là đủ để mô tả mô hình của động cơ DC. Ta viết lại hệ (1), (3) như sau:

$$\begin{cases} e_a(t) = R_a i_a(t) + L_a \frac{di_a}{dt} + K_e \omega(t) \\ J \frac{d\omega}{dt} + B \omega(t) = K_t i_a(t) \end{cases} \quad (11)$$

Trong đó các tham được chọn theo các tham số đã được sử dụng rộng rãi trong các nghiên cứu điều khiển tốc độ động cơ DC. Cụ thể, các tham số gồm: $R_a = 1\Omega$, $L_a = 0,5H$, $J = 0,01kg.m^2$, $B = 0,1N.m.s / rad$, $K_t = 0,01N.m / A$, $K_e = 0,01V.s / rad$. Việc bộ tham số này trùng khớp với tham số được sử dụng trong nghiên cứu của Khine và đồng nghiệp [32]. Thay các hệ số này vào (5) ta nhận được hàm truyền hở từ $e_a(t)$ đến $\omega(t)$ như sau:

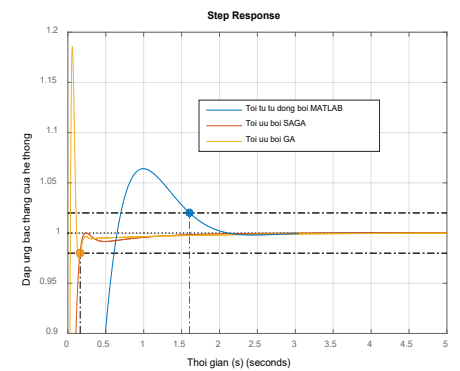
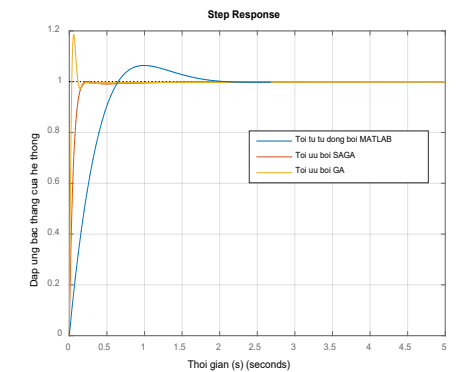
$$G_m(s) = \frac{0,01}{(0,5s+1)(0,01s+0,1)+0,1^2} \quad (12)$$

Đối với thuật toán SAGA, kích thước quần thể được chọn là 10; số thế hệ tối đa là 50; chọn lọc sắp hạng tuyến tính với hệ số áp lực chọn lọc $\eta = 0,5$; lai ghép $BLX - \alpha$ với xác suất lai ghép là 0,85; đột biến đa thức với xác suất đột biến biến thiên trong đoạn từ 0,01 đến 0,3; các hệ số của bộ điều khiển PID biến thiên từ 0,01 đến 1000.

Kết quả khảo sát sẽ được so sánh với bộ điều khiển được tối ưu bằng GA cổ điển (xác suất đột biến cố định là 0,01) và công cụ tối ưu tự động trong MATLAB (hàm pidsolve).

2.3.2. Kết quả mô phỏng

Ta có đáp ứng của động cơ với ba bộ điều khiển PID được thiết kế theo ba phương pháp khác nhau: Tối ưu tự động bởi MATLAB; tối ưu bởi GA cổ điển; tối ưu bởi SAGA đề xuất. Kết quả được mô tả dưới đây:



Hình 3. Đáp ứng của động cơ DC ứng ba bộ điều khiển PID

Bảng 2. Bảng tổng hợp giá trị một số tham số chất lượng của hệ thống trong miền thời gian

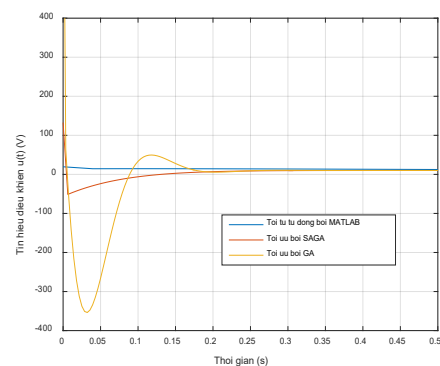
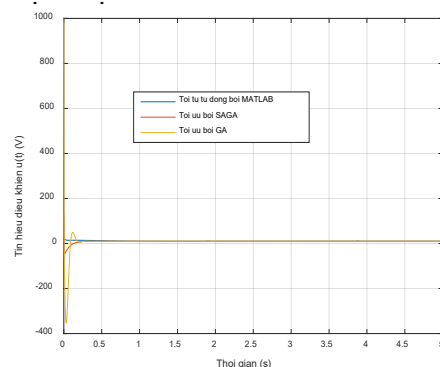
	Tối ưu tự động	GA	SAGA
Thời gian xác lập (s)	1,600	0,168	0,160
Độ quá chỉnh (%)	6,390	18,500	0,000
Thời gian tăng (s)	0,461	0,025	0,101

Từ Hình 3 và Bảng 2 ta nhận thấy đáp ứng của động cơ DC khi sử dụng bộ điều khiển PID được tối ưu bởi GA và SAGA có tính tác động nhanh cũng như thời gian xác

lập đều tốt hơn khi sử dụng bộ điều khiển PID được tối ưu bởi tự động bởi MATLAB.

Khi xét riêng tham số là thời gian tăng thì bộ điều khiển PID tối ưu bởi GA thì tốt hơn bộ điều khiển PID tối ưu bởi SAGA (không đáng kể). Tuy nhiên, nó lại phải chịu một mức vọt lố rất lớn (lên tới 18,5%); trong khi đó bộ điều khiển PID tối ưu bởi SAGA giúp hệ thống đạt trạng thái xác lập nhanh hơn và không xuất hiện vọt lố.

Để có thể đánh giá chính xác hơn, ta sẽ đánh giá tín hiệu điều khiển (đầu ra của bộ điều khiển PID) theo ba phương pháp. Dưới đây là kết quả tín hiệu điều khiển nhận được:

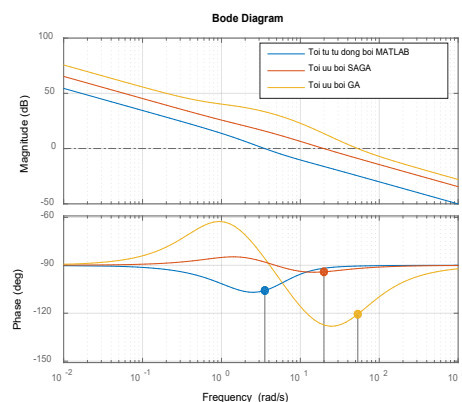


Hình 4. Tín hiệu điều khiển khi sử dụng ba bộ điều khiển PID

Từ Hình 4 ta có thể nhận thấy rằng tín hiệu điều khiển khi sử dụng bộ điều khiển PID tối ưu bởi GA biến thiên và dao động rất lớn ở giai đoạn bắt đầu điều khiển (biên độ dao động khoảng 400V trong khoảng 0,12s đầu). Điều này là điều không mong muốn bởi vì khi tín hiệu điều khiển lớn và dao động có thể gây ra hư hại đối với cơ cấu chấp hành, gây ra rung động cơ học, làm giảm chất lượng điều khiển nói chung.

Trong khi đó tín hiệu điều khiển tạo bởi bộ điều khiển PID tối ưu bởi MATLAB (giảm gần tuyến tính từ 20V về giá trị điện áp điều khiển ổn định là 10V) và bộ điều khiển PID tối ưu bởi SAGA có mức độ biến thiên ít hơn (tăng từ -50V về giá trị điện áp điều khiển ổn định là 10V), dễ điều khiển hơn.

Để đánh giá tác động của bộ điều khiển PID tới tính ổn định của vòng điều khiển kín, ta có đồ thị Bode của hệ thống khi điều khiển bởi bộ điều khiển PID tối ưu theo ba phương pháp khác nhau như sau:



Hình 5. Đồ thị Bode của hệ thống trong miền tần số

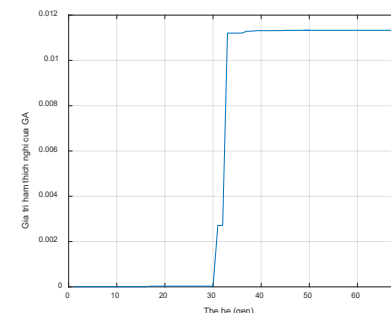
Bảng 3. Bảng tổng hợp giá trị một số tham số chất lượng của vòng điều khiển kín trong miền tần số

	Tối ưu tự động	GA	SAGA
Độ dự trữ pha (deg)	74,2	59,4	85,9
Tần số cắt (rad/s)	3,55	53,5	19,9
Thời gian tăng (s)	0,461	0,025	0,101

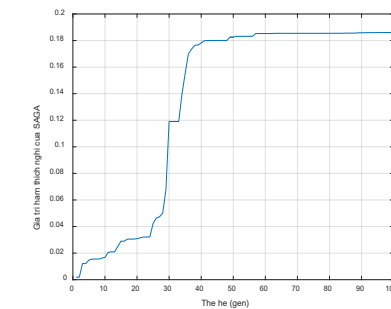
Từ đồ thị Bode (Hình 5) và Bảng 3 cho thấy ba phương pháp điều chỉnh PID tạo ra những đặc trưng khác nhau về chất lượng điều khiển. Bộ PID tối ưu tự động mang lại tính ổn định cao và an toàn, nhưng băng thông thấp khiến hệ thống phản ứng còn chậm và ít nhạy với tín hiệu đặt. Phương pháp tối ưu GA cho băng thông lớn nhất, thể hiện tốc độ đáp ứng cao; tuy nhiên, dự trữ pha nhỏ làm giảm độ bền vững, khiến hệ nhạy hơn với nhiễu và dễ xuất hiện dao động hoặc vọt lố trong miền thời gian (Hình 3). Ngược lại, SAGA đạt được sự cân bằng tối ưu giữa hai tiêu chí tốc độ và ổn định:

tần số cắt vẫn lớn hơn PID MATLAB, trong khi dự trữ pha là cao nhất trong ba cấu hình. Nhờ đó, hệ thống sử dụng PID tối ưu bằng SAGA có tính đáp ứng nhanh nhưng vẫn ổn định, đồng thời giữ tín hiệu điều khiển ở mức biên độ thấp. Kết quả này cho thấy SAGA là phương pháp tối ưu hóa hiệu quả và bền vững hơn cho bài toán điều khiển tốc độ động cơ DC

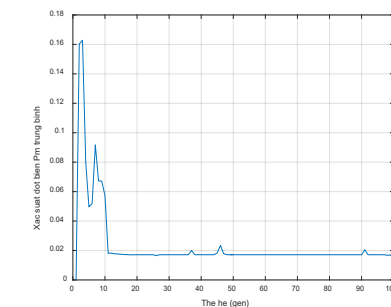
Để thấy rõ hơn ưu điểm của SAGA so với GA theo quan điểm của di truyền ta có biểu đồ mô tả sự biến thiên giá trị của hàm thích nghi và xác suất lai ghép trung bình của quần thể theo thế hệ như sau:



a) Giá trị hàm thích nghi khi tối ưu bởi GA



b) Giá trị hàm thích nghi khi tối ưu bởi SAGA



c) Xác suất đột biến trung bình quần thể khi tối ưu bởi SAGA

Hình 6. Sự biến thiên của hàm thích nghi

Ta nhận thấy hàm thích nghi của quần thể khi thực hiện thuật toán GA dừng lại sau 68 thế hệ và biến đổi rất ít. Điều đó cho thấy quần thể mất đi sự đa dạng gene và hội tụ vào cực trị cục bộ và không thoát ra được (Hình 6a). Trong khi đó, hàm thích nghi của thuật toán SAGA tăng ổn định và tiến dần tới cực trị toàn cục (bộ tham số của bộ điều khiển PID). Thuật toán SAGA đạt được điều này nhờ sự thay đổi thích nghi của tham số xác suất đột biến. Từ Hình 6c ta thấy trong những thế hệ đầu, xác suất đột biến trung bình của quần thể biến động lớn. Tuy nhiên, từ thế hệ 11 trở đi thì xác suất đột biến trung bình gần như không có biến động. Điều đó chứng tỏ SAGA đã tìm được giá trị xác suất đột biến phù hợp cho quần thể; do đó, nó được giữ lại và nhân bản trong các thế hệ tiếp theo.

3. TRAO ĐỔI VÀ KẾT LUẬN

Như vậy, thuật toán SAGA đề xuất đã tìm được bộ tham số tối ưu cho bộ điều khiển PID. Bằng việc đưa tham số xác suất đột biến P_m vào cấu trúc gene và để cho P_m tự tiến hóa cùng với các tham số hệ số của bộ điều khiển thì thuật toán SAGA đã tránh được hiện tượng hội tụ sớm vào cực trị cục bộ giống như GA cổ điển. Khi số lượng cá thể trong quần thể và số thế hệ bị hạn chế thì hiện tượng hội tụ sớm càng dễ xảy ra.

Kết quả mô phỏng khi sử dụng bộ điều khiển PID để điều khiển động cơ DC cho thấy chất lượng tổng thể của hệ thống khi sử dụng bộ điều khiển PID được tối ưu bởi SAGA vượt trội hơn hẳn khi sử dụng các phương pháp khác nhau tối ưu tự động trong MATLAB hoặc tối ưu bởi GA cổ điển.

Chất lượng của GA còn phụ thuộc những tham số khác như xác suất lai ghép, hệ số áp lực chọn lọc. Tuy nhiên, bài báo này chưa thực hiện thích nghi đồng thời cả 3 tham số này. Đồng thời, nếu được kiểm chứng trên thực tế với động cơ DC thật thì sẽ tăng tính thuyết phục và ý nghĩa thực tiễn của thuật toán SAGA đề xuất. Đây chính là hướng mở để thực hiện các nghiên

cứ tiếp theo để có đánh giá tổng quát hơn nữa về chất lượng của thuật toán SAGA.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] A. Top, "Optimization-Based Tuning of PI Controller Parameters for DC Motor Speed Control," (in en), *Hittite Journal of Science and Engineering*, vol. 12, no. 2, pp. 81–90, June 2025, doi: 10.17350/HJSE19030000354.
- [2] I. S. Okoro and C. O. Enwerem, "Robust control of a DC motor," *Heliyon*, vol. 6, no. 12, 2020/12 2020, doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e05777.
- [3] J. A. Prakosa, A. Gusrialdi, E. Kurniawan, A. D. Stotckaia, H. Adinanta, and Suryadi, "Experimentally robustness improvement of DC motor speed control optimization by H-infinity of mixed-sensitivity synthesis," *International Journal of Dynamics and Control*, vol. 10, no. 6, pp. 1968–1980, 2022/12/01 2022, doi: 10.1007/s40435-022-00956-y.
- [4] S. Gulgonul, *PID Tuning via Desired Step Response Curve Fitting*. 2025.
- [5] R. Borase, D. Maghade, S. Sondkar, and S. Pawar, "A review of PID control, tuning methods and applications," *International Journal of Dynamics and Control*, vol. 9, 06/01 2021, doi: 10.1007/s40435-020-00665-4.
- [6] R. H. Subrata, F. Gozali, and E. Djuana, "Computational and intelligent optimization tuning method for Pid controller," *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, vol. 100, no. 7, pp. 2007–2017, 2022.
- [7] A. Varshney, D. Gupta, and B. Dwivedi, "Speed response of brushless DC motor using fuzzy PID controller under varying load condition," *Journal of Electrical Systems and Information Technology*, vol. 4, no. 2, pp. 310–321, 2017/09/01/ 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jesit.2016.12.014>.
- [8] L. Dinh Quy *et al.*, "Metaheuristic Algorithms for PID Controller Parameters Tuning: Approaches and Results," 2025, pp. 380–389.
- [9] S. Wenjuan, Q. Su, H. Yuan, and Y. Chen, "Optimization Performance Analysis for Adaptive Genetic Algorithm with Nonlinear Probabilities," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 13, 01/01 2022, doi: 10.14569/IJACSA.2022.0130645.
- [10] J. Zhao and M. Xi, "Self-Tuning of PID Parameters Based on Adaptive Genetic Algorithm," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 782, no. 4, p. 042028, 2020/03/01 2020, doi: 10.1088/1757-899X/782/4/042028.
- [11] L.-Y. Chang and H.-C. Chen, "Tuning of fractional PID controllers using adaptive genetic algorithm for active magnetic bearing system," *WSEAS TRANSACTIONS on SYSTEMS*, vol. 8, pp. 158–167, 01/01 2009.
- [12] L. Yang, D. Widyantoro, T. Ioerger, and J. Yen, *An entropy-based adaptive genetic algorithm for learning classification rules*. 2001, pp. 790–796 vol. 2.
- [13] N. Stark, G. F. Minetti, and C. Salto, "A new strategy for adapting the mutation probability in genetic algorithms," 2012.
- [14] B. Zheng, X. Li, Z. Tian, and L. Meng, "Optimization Method for Distributed Database Query Based on an Adaptive Double Entropy Genetic Algorithm," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 4640–4648, 2022.
- [15] J.-p. Cao, S.-K. Jeong, and Y.-M. Jung, "Fuzzy logic controller design with unevenly-distributed membership function for high performance chamber cooling system," *Journal of Central South University*, vol. 21, no. 7, pp. 2684–2692, 2014. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s11771-014-2230-y>.
- [16] M. Vannucci and V. Colla, "Fuzzy adaptation of crossover and mutation rates in genetic algorithms based on population performance," *J. Intell. Fuzzy Syst.*, vol. 28, no. 4, pp. 1805–1818, 2015.

28, no. 4, pp. 1805–1818, 2015.

- [17] Y.-T. Kao and E. Zahara, "A hybrid genetic algorithm and particle swarm optimization for multimodal functions," *Applied Soft Computing*, vol. 8, no. 2, pp. 849–857, 2008/03/01/ 2008, doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2007.07.002>.
- [18] E. M. El-Gendy, M. M. Saafan, M. S. Elksas, S. F. Saraya, and F. F. G. Areed, "Applying hybrid genetic-PSO technique for tuning an adaptive PID controller used in a chemical process," *Soft Computing*, vol. 24, no. 5, pp. 3455–3474, 2020/03/01 2020, doi: 10.1007/s00500-019-04106-z.
- [19] Z. Novikov and E. Sopov, "Development and analysis of adaptive mutation techniques in genetic algorithms," *ITM Web of Conferences*, vol. 72, 02/13 2025, doi: 10.1051/itmconf/20257205003.
- [20] J. Tang, D. Liu, Q. Wang, J. Li, and J. Sun, "Probabilistic Chain-Enhanced Parallel Genetic Algorithm for UAV Reconnaissance Task Assignment," *Drones*, vol. 8, no. 6, p. 213, 2024. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2504-446X/8/6/213>.
- [21] S. Meyer-Nieberg and H.-G. Beyer, "Self-Adaptation in Evolutionary Algorithms," vol. 54, 2007, pp. 47–75.
- [22] J. M. Oliver, T. Kipouros, and A. M. Savill, "A Self-adaptive Genetic Algorithm Applied to Multi-Objective Optimization of an Airfoil," in *EVOLVE - A Bridge between Probability, Set Oriented Numerics, and Evolutionary Computation IV*, Heidelberg, M. Emmerich *et al.*, Eds., 2013// 2013: Springer International Publishing, pp. 261–276.
- [23] S. Sami, Z. Obaid, M. Muhssin, and A. Hussain, "Detailed modelling and simulation of different DC motor types for research and educational purposes," *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*, vol. 12, p. 703, 06/01 2021, doi: 10.11591/ijpeds.v12.i2.pp703-714.
- [24] E. Arévalo, R. Herrera Hernández, D. Katselis, C. Reusser, and R. Carvajal, "On Modelling and State Estimation of DC Motors," *Actuators*, vol. 14, p. 160, 03/21 2025, doi: 10.3390/act14040160.

- [25] D. Puangdownreong, "Current Search: Performance Evaluation and Application to DC Motor Speed Control System Design," *Intelligent Control and Automation*, vol. 04, pp. 42–54, 01/01 2013, doi: 10.4236/ica.2013.41007.
- [26] M. Kuczmam, "Review of DC Motor Modeling and Linear Control: Theory with Laboratory Tests," *Electronics*, vol. 13, no. 11, p. 2225, 2024. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2079-9292/13/11/2225>.
- [27] C. Reyes and G. Gerena, "Mathematical modeling of a DC motor with separate excitation," *Tekhnê*, vol. 15, no. 1, pp. 13–20, 2018.
- [28] F. Zaghrat, G. Brahim, B. Bouchiba, I. K. Bousserhane, and C. Imane, "Robust fuzzy sliding mode control implementation for DC motor," *PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY*, vol. 5/2022, p. 97, 04/02 2022, doi: 10.15199/46.2022.05.18.
- [29] B. C. Kuo, *Automatic Control Systems*. Prentice-Hall, 1982.
- [30] M. Srinivas and L. M. Patnaik, "Adaptive probabilities of crossover and mutation in genetic algorithms," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 24, no. 4, pp. 656–667, 1994, doi: 10.1109/21.286385.
- [31] A. E. Eiben, R. Hinterding, and Z. Michalewicz, "Parameter control in evolutionary algorithms," *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 3, no. 2, pp. 124–141, 1999, doi: 10.1109/4235.771166.
- [32] M. Khine, M. Htwe, and M. Y. Y. Mon, "Simulation DC motor speed control system by using PID controller," *Int. J. Trend Sci. Res. Develop.*, vol. 3, no. 4, pp. 1418–1423, 2019.

XÂY DỰNG BỘ ĐIỀU KHIỂN QUADROTOR TREO TẢI VỚI CHIỀU DÀI DÂY CÁP THAY ĐỔI

Nguyễn Thị Diệu Linh¹, Trần Ngọc Đức²

¹ Phòng Khoa học Công nghệ, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

² Khoa Kỹ thuật Công nghệ, Trường Cao đẳng Kinh tế Công nghiệp Hà Nội

*Email: nguyen.linh@hau.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo ứng dụng phương pháp điều khiển trượt để tổng hợp bộ điều khiển quadrotor có treo tải với độ dài dây cáp thay đổi, bám theo các quỹ đạo bay đặt trước. Xây dựng mô hình toán học cho đối tượng điều khiển, từ đó tiến hành thiết kế bộ điều khiển trượt cho quadrotor. Kiểm chứng, đánh giá chất lượng của bộ điều khiển bằng mô phỏng, cho thấy bộ điều khiển đáp ứng tốt với các đầu vào mong muốn.

Từ khóa: Điều khiển trượt, Không người lái, Quan sát trạng thái mở rộng, Quỹ đạo, Thiết bị bay.

ABSTRACT

This paper investigates the use of sliding mode control for designing a controller for a quadrotor carrying a suspended payload with a variable cable length, aiming at tracking predefined flight trajectories. A mathematical model of the system is first derived, followed by the design of a sliding mode controller for the quadrotor. Simulation results are then presented to evaluate the controller's performance, showing satisfactory tracking behavior with respect to the desired reference inputs.

Keywords: Sliding control, Unmanned, Extended state observation, Orbit, Flying device.

Ngày nhận bài: 09/11/2025; **Ngày sửa bài:** 15/12/2025; **Ngày duyệt đăng:** 20/12/2025

1. MỞ ĐẦU

Hiện nay, các phương tiện bay không người lái đã và đang được ứng dụng ngày càng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực như quân sự, giao thông vận tải, vận chuyển hàng hoá, nông nghiệp và tìm kiếm cứu nạn. Trong đó, quadrotor là một trong những cấu hình phổ biến. Đây là loại phương tiện bay không người lái sử dụng bốn động cơ cánh quạt bố trí đối xứng, có thiết kế đơn giản, khả năng cơ động linh hoạt và hoạt động hiệu quả trong không gian hẹp. Khi được tích hợp thêm cơ cấu treo tải, quadrotor có thể thực hiện các nhiệm vụ trong các khu vực khó tiếp cận tốt hơn so với các phương tiện vận tải truyền thống. Tuy nhiên, để điều khiển một hệ thống như vậy đặt ra nhiều thách thức về mặt kỹ thuật.

Hệ thống quadrotor có treo tải thường đối mặt với các vấn đề phức tạp như sự dao động của tải trọng, các tác động từ nhiễu bên ngoài như gió hoặc thay đổi môi trường hoạt động, cùng với sự bất định trong mô hình và sai số cảm biến. Ngoài ra, do tải được treo bằng dây nên hệ thống có thêm bậc tự do, khiến việc điều khiển trở nên phức tạp hơn. Quadrotor hoạt động trong môi trường nhiệt đới gió mùa khiến các linh kiện điện tử trong hệ thống điều khiển dễ bị xuống cấp, làm giảm độ tin cậy, hiệu quả khai thác của hệ thống. Do đó, yêu cầu đặt ra là phải xây dựng được một hệ thống điều khiển có độ tin cậy cao, khả năng thích nghi tốt và đủ bền vững để duy trì quadrotor hoạt động ổn định trong nhiều điều kiện khác nhau.

Bộ điều khiển cho quadrotor thường yêu

cầu nhiều cảm biến để so sánh tín hiệu đặt và tín hiệu thực tế nhằm tạo ra tín hiệu điều khiển phù hợp. Điều này làm tăng độ phức tạp và chi phí của hệ thống. Bộ điều khiển [1] dựa trên việc lựa chọn hàm Lyapunov nhằm đảm bảo ổn định các quỹ đạo mong muốn dọc trục (X, Z) và góc nghiêng. [2] thiết kế bộ điều khiển PID và LQR để ổn định độ cao. [3] sử dụng động cơ chấp hành một chiều với bộ điều khiển thích nghi để ổn định chuyển động. Tuy nhiên, khi có nhiễu mạnh thì các bộ điều khiển trên không còn tuyến tính nữa, việc ổn định các vòng kín của hệ thống chỉ có thể đạt được đối với một vùng nhỏ xung quanh điểm cân bằng. [4] ứng dụng điều khiển logic mờ, mạng nơ ron nhằm đảm bảo các góc Euler tiến đến 0 trong quá trình chuyển động. [5] ứng dụng bộ điều khiển trượt và trượt bậc cao kết hợp với [6] để ước lượng các biến trạng thái chưa đo được và các nhiễu loạn bên ngoài như gió hoặc tiếng ồn. Tuy nhiên, các bộ điều khiển đó lại đòi hỏi khối lượng tính toán lớn và phức tạp.

Từ những đặc điểm trên, bài báo này đề xuất một phương pháp xây dựng và mô phỏng hệ thống điều khiển quadrotor có treo tải trọng với chiều dài dây cáp thay đổi, trên cơ sở ứng dụng lý thuyết điều khiển trượt. Sử dụng phương pháp điều khiển trượt giúp hệ thống duy trì ổn định trong điều kiện nhiễu và các yếu tố bất định. Cấu trúc điều khiển này phù hợp với đặc tính của hệ thống quadrotor treo tải khi hoạt động trong môi trường thực tế.

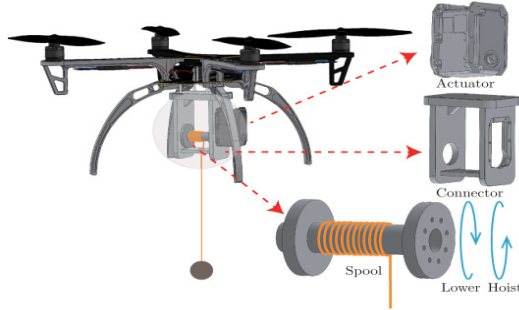
2. BỘ ĐIỀU KHIỂN QUADROTOR TREO TẢI VỚI CHIỀU DÀI DÂY CÁP THAY ĐỔI

2.1. Giả thiết treo tải trọng

Những năm gần đây, phương tiện bay không người lái đã trở thành công cụ nghiên cứu phổ biến trong lĩnh vực robot hàng không và được ứng dụng trong nhiều tình huống khác nhau. Vận chuyển treo tải bằng quadrotor là một lĩnh vực nghiên cứu và ứng dụng quan trọng. Tuy nhiên, do tải trọng luôn dao động trong quá trình

vận chuyển, việc điều khiển quadrotor và tải treo trở nên phức tạp. Phần lớn các nghiên cứu về quadrotor treo tải hiện tại đang tập trung vào sử dụng dây có chiều dài cố định, việc chuyển động nâng, hạ tải chỉ được thực hiện bằng cách điều chỉnh độ cao. Tuy nhiên, trong một số tình huống cụ thể, phương pháp này tỏ ra không hiệu quả, chẳng hạn khi cần vượt qua không gian hẹp bị giới hạn về độ cao. Khi hoạt động trong các không gian này với chiều dài dây cáp cố định, quadrotor hoặc tải có nguy cơ va chạm với các chướng ngại vật. Vì vậy, để linh hoạt điều chỉnh vị trí tương đối giữa tải trọng và quadrotor thông qua kết nối bằng một cơ cấu thay đổi chiều dài dây cáp là cần thiết.

Trong bài báo này, hệ thống vận chuyển bằng quadrotor với khả năng nâng và hạ tải trọng được thiết kế bằng cách lắp đặt một cơ cấu chấp hành bên dưới quadrotor thể hiện trong hình 1. Cấu tạo của bộ nâng và hạ tải bao gồm một cuộn dây, một cơ cấu truyền động và một bộ kết nối. Cuộn dây được kết nối với cơ cấu chấp hành, truyền động qua bộ kết nối và cơ cấu truyền động có thể cung cấp mômen khác nhau để làm cuộn dây quay theo các hướng khác nhau. Cụ thể, khi cuộn dây quay theo chiều kim đồng hồ, dây cáp được nhả ra, chiều dài cáp tăng lên và tải trọng được hạ xuống. Ngược lại, khi cuộn dây quay ngược chiều kim đồng hồ, dây sẽ được kéo lại, chiều dài dây giảm đi và tải trọng được nâng lên. Vì chiều dài dây có thể điều chỉnh, số lượng bậc tự do và đầu vào điều khiển của hệ thống tăng lên, trong trường hợp này hệ thống có chín bậc tự do và năm đầu vào điều khiển. Do đó, vấn đề thiết kế bộ điều khiển trở nên phức tạp hơn khi xem xét việc nâng và hạ tải trọng. Để giải quyết vấn đề này, hệ thống được chia ra hai hệ con: hệ thống con vòng trong và hệ thống con vòng ngoài. Hệ thống con vòng trong điều khiển các chuyển động quay của quadrotor, trong khi hệ thống con vòng ngoài điều khiển các chuyển động tịnh tiến và chuyển động của tải trọng treo được kết nối bởi cơ cấu chấp hành.

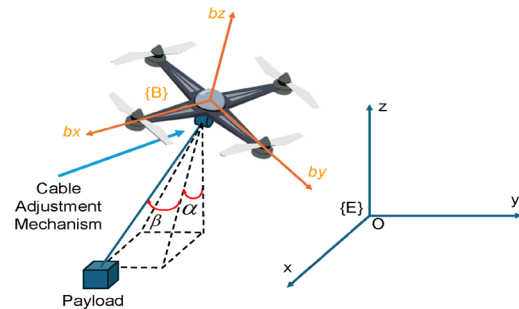


Hình 1. Hệ thống quadrotor treo tải với chiều dài dây cáp thay đổi.

2.2. Mô hình động học hệ thống tải treo trên quadrotor với chiều dài dây cáp không cố định

Mô hình của hệ thống treo tải trọng bằng quadrotor với một bộ truyền động để thu, thả tải trọng được minh họa trong hình 2. Trong hệ thống này, bộ truyền động được gắn cố định vào dưới của thân quadrotor và có nhiệm vụ điều chỉnh chiều dài của dây cáp giúp thu, thả tải trọng một cách linh hoạt.

Hình 2. Mô hình cơ bản của hệ thống tải treo trên quadrotor.



Mô hình động lực học của hệ thống sử dụng hai hệ quy chiếu: Hệ tọa độ quán tính $\{E\}$ là hệ tọa độ cố định trong không gian, hệ tọa độ $\{B\}$ là hệ quy chiếu gắn với thân quadrotor, di chuyển cùng với phương tiện. Tâm của hệ tọa độ gắn với thân quadrotor được đặt tại tâm khối của nó để đơn giản trong việc phân tích động lực học. Tải trọng được treo vào quadrotor thông qua một sợi dây cáp. Quadrotor có thể di chuyển theo hướng các trục tọa độ dưới tác động của bộ điều khiển. Khi chiều dài của dây cáp thay

đổi, tải trọng sẽ dịch chuyển theo hướng tương ứng với sự thay đổi của dây. Các góc dao động α và β lần lượt là góc tạo bởi dây cáp với mặt phẳng y-z và mặt phẳng x-z.

Để đơn giản hóa mô hình quadrotor treo tải, sử dụng các giả thiết giả thiết sau [3]-[4]:

Giả thiết 1: Cáp treo không đàn hồi và không có khối lượng.

Giả thiết 2: Các góc dao động α và β đều nằm trong khoảng $(-\pi/2; \pi/2)$.

Giả thiết 3: Điểm treo nằm ở trọng tâm quadrotor.

Mô hình động lực học hệ thống được tách thành hai hệ con: Hệ con vòng trong mô tả chuyển động quay của quadrotor và hệ con vòng ngoài bao gồm ba thành phần chính là chuyển động tịnh tiến của quadrotor, biến thiên chiều dài dây cáp và các góc lắc α, β của tải trọng.

Trong hệ tọa độ mặt đất, vị trí của quadrotor được xác định bởi $\xi = [x \ y \ z]^T \in R^3$. Vị trí tải trọng $\xi_l = [x_l \ y_l \ z_l]^T \in R^3$ được xác định dựa trên mối quan hệ hình học giữa quadrotor với tải trọng và được biểu diễn dưới dạng:

$$x_l = x + f_1, y_l = y + f_2, z_l = z - f_3 \quad (1)$$

Trong đó:

$$f_1 = L \sin \alpha \cos \beta; f_2 = L \sin \beta; f_3 = L \cos \alpha \cos \beta \quad (2)$$

Đạo hàm theo thời gian, ta được:

$$\begin{cases} \dot{x}_l = \dot{x} + L S_\alpha C_\beta + L \dot{\alpha} C_\alpha C_\beta - L \dot{\beta} S_\alpha S_\beta \\ \dot{y}_l = \dot{y} + L S_\beta + L \dot{\beta} C_\beta \\ \dot{z}_l = \dot{z} - L C_\alpha C_\beta + L \dot{\alpha} S_\alpha C_\beta + L \dot{\beta} C_\alpha S_\beta \end{cases} \quad (3)$$

Trong đó: $S_\beta = \sin \beta, C_\alpha = \cos \alpha$

Tọa độ tổng quát của hệ con vòng ngoài được chọn là $q = [x \ y \ z \ \varepsilon \ \beta \ l]^T$ và Lagrange tương ứng của hệ con này được xác định bởi [4]:

$$L_{out} = T_{out} - P \quad (3)$$

Trong đó P là thế năng của hệ thống, T_{out} bao gồm động năng của chuyển động tịnh tiến của quadrotor và dao động của tải trọng, các thành phần này được xác định như sau:

$$\begin{cases} T_{out} = \frac{1}{2} m_q \dot{\xi}^T \dot{\xi} + \frac{1}{2} m_l \dot{\xi}_l^T \dot{\xi}_l \\ P = m_q g z + m_l g z \end{cases} \quad (4)$$

Từ các công thức (2), (3), (4) thay thế vào phương trình Lagrange [3]-[5]:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L_{out}}{\partial \dot{q}} - \frac{\partial L_{out}}{\partial q} = Q_i \quad (5)$$

Ta có phương trình động lực học của hệ con chuyển động tịnh tiến được xác định:

$$\begin{cases} \ddot{x} = \frac{1}{m_q + m_l} (F_x + f_{rx} - m_l \ddot{x}_l) \\ \ddot{y} = \frac{1}{m_q + m_l} (F_y + f_{ry} - m_l \ddot{y}_l) \\ \ddot{z} = \frac{1}{m_q + m_l} (F_z + f_{rz} + m_l \ddot{z}_l) \\ \ddot{l} = \frac{F_l + f_{rl}}{m_l} + g C_\alpha C_\beta - \ddot{x}_l S_\alpha C_\beta - \ddot{y}_l S_\beta + \ddot{z}_l C_\alpha C_\beta + L \dot{\beta}^2 + L \dot{\alpha}^2 C_\beta^2 \\ \ddot{\alpha} = \frac{1}{L C_\beta^2} (2 L \dot{\alpha} \dot{\beta} S_\beta C_\beta - \ddot{x}_l C_\alpha C_\beta - \ddot{z}_l S_\alpha C_\beta - 2 L \dot{\alpha} C_\beta^2 - g S_\alpha C_\beta) \\ \ddot{\beta} = \frac{1}{L} (-g S_\beta C_\beta - \ddot{y}_l C_\beta + \ddot{x}_l S_\alpha C_\beta - \ddot{z}_l C_\alpha C_\beta - 2 L \dot{\beta} - L \alpha^2 S_\beta C_\beta) \end{cases} \quad (6)$$

Trong đó: m_q, m_l - khối lượng của quadrotor và tải, F_x, F_y, F_z - các lực điều khiển hướng di chuyển của quadrotor theo các trục, F_l - lực điều khiển độ dài của dây cáp, $f_{rx}, f_{ry}, f_{rz}, f_{rl}$ - lực cản không khí tác dụng lên quadrotor và tải trọng được xác định:

$$\begin{cases} f_{rx} = -d_x \dot{x} - d_p (\dot{x} + L S_\alpha C_\beta + L \dot{\alpha} C_\alpha C_\beta - L \dot{\beta} S_\alpha S_\beta) \\ f_{ry} = -d_y \dot{y} - d_p (\dot{y} + L S_\beta + L \dot{\beta} C_\beta) \\ f_{rz} = -d_z \dot{z} - d_p (\dot{z} - L C_\alpha C_\beta + L \dot{\alpha} S_\alpha C_\beta + L \dot{\beta} C_\alpha S_\beta) \\ f_{rl} = -d_l \dot{l} - d_p \dot{l} - d_p \dot{x}_l S_\alpha S_\beta - d_p \dot{y}_l S_\beta + d_p \dot{z}_l C_\alpha C_\beta \end{cases} \quad (7)$$

Theo giả thiết 3, do cách treo của tải trọng, động lực học quay của quadrotor không bị ảnh hưởng. Do đó, hệ con vòng bên trong vẫn giữ nguyên như trong trường hợp không có tải trọng treo.

Dựa trên mô hình động lực học của hệ thống quadrotor treo tải sử dụng cáp có độ dài thay đổi ở phương trình và , ta thấy rằng hệ có tổng cộng 9 bậc tự do, bao gồm: ba bậc tự do vị trí của quadrotor, một bậc tự do độ dài cáp, hai bậc tự do góc dao động của tải trọng và ba bậc tự do quay của quadrotor. Để điều khiển hệ thống này chỉ có năm đầu vào điều khiển, bao gồm lực đẩy của quadrotor, ba moment lực và lực điều chỉnh độ dài cáp.

2.3. Thiết kế bộ điều khiển cho hệ thống tải treo trên quadrotor với chiều dài của dây cáp không cố định

2.3.1. Bộ điều khiển bám vị trí và hạn chế góc lắc

Nhiệm vụ chủ yếu của hệ thống điều khiển là dẫn hướng quadrotor bám theo quỹ đạo mong muốn nên các sai số bám quỹ đạo được định nghĩa như sau:

$$\begin{cases} e_x = x - x_d, e_y = y - y_d \\ e_z = z - z_d, e_l = L - L_d \end{cases} \quad (8)$$

Trong đó: L_d - chiều dài dây mong muốn; x_d, y_d và z_d lần lượt là các vị trí mong muốn của quadrotor theo các trục x, y và z.

Nếu chỉ sử dụng các biến sai số này để tạo ra lực điều khiển F_x, F_y, F_z , quadrotor chỉ có thể bám theo quỹ đạo tham chiếu mà không trực tiếp triệt tiêu được các góc lắc của tải. Do đó, cần thiết kế một sơ đồ điều khiển có khả năng điều khiển quadrotor bám theo quỹ đạo đặt trước và có khả năng đồng thời giảm thiểu dao động của tải.

Để đạt được mục tiêu trên cần bổ sung lực điều khiển kéo dây cáp F_l có tác dụng thay đổi chiều dài dây cáp và ba hàm sai số phụ trợ được đề xuất. Khi ba hàm được sử dụng làm tín hiệu phản hồi trong hệ thống điều khiển, các hàm này thiết lập mối quan hệ động học giữa vị trí, chiều dài dây và các góc lắc, có thể đồng thời thỏa mãn cả hai yêu cầu bám quỹ đạo và chống lắc. Các hàm sai số phụ trợ theo [4] được định nghĩa như sau:

$$\begin{aligned} \varepsilon_x(t) &= e_x - f_1, \varepsilon_y(t) \\ &= e_y - f_2, \varepsilon_z(t) = e_z - L_d + f_3 \end{aligned} \quad (9)$$

Khi bộ điều khiển triệt tiêu hoàn toàn góc lắc và dây cáp dài $L = L_d$, ta được $g_1 = g_2 = 0$ và $g_3 = L_d$. Điều này có nghĩa là khi bộ điều khiển sử dụng phản hồi là các hàm sai số phụ trợ thành công trong việc triệt tiêu dao động lắc, đồng thời nó cũng đảm bảo khả năng bám theo quỹ đạo định trước một cách chính xác.

Mặt trượt và hàm Lyapunov được định nghĩa như sau [8]:

$$S_x = c_1 \varepsilon_x + \dot{\varepsilon}_x; c_1 > 0; V_x = \frac{1}{2} S_x^2 \quad (10)$$

Đạo hàm cấp một của hàm Lyapunov được xác định:

$$\begin{aligned} \dot{V}_x &= S_x \dot{S}_x = S_x (c_1 \dot{\varepsilon}_x + \ddot{\varepsilon}_x) \\ &= S_x (\dot{c}_1 (\dot{x} - \dot{x}_d - \dot{g}_l) + (\ddot{x} - \ddot{x}_d - \ddot{g}_l)) \\ &= S_x \left(c_1 \dot{x} - c_1 \dot{g}_l + \frac{F_x - m_l \ddot{g}_l}{m_q + m_l} - \ddot{g}_l - c_1 \dot{x}_d - \ddot{x}_d \right) \\ &= S_x \left(\frac{F_x}{m_q + m_l} + c_1 \dot{x} - c_1 \dot{g}_l + \frac{m_q + 2m_l}{m_q + m_l} \ddot{g}_l - c_1 \dot{x}_d - \ddot{x}_d \right) \end{aligned}$$

(11)

Từ phương trình (11), tín hiệu điều khiển trượt F_x có thể được xác định như sau:

$$F_x = (m_q + m_l) \left[-k_1 \cdot \text{sgn}(S_x) + c_1 \dot{g}_l + c_1 \dot{g}_l + \frac{m_q + 2m_l}{m_q + m_l} \ddot{g}_l - c_1 \dot{x} + c_1 \dot{x}_d + \ddot{x}_d \right] \quad (12)$$

Thay vào ta có:

$$\dot{V}_x = -k_1 S_x \cdot \text{sgn}(S_x) < 0 \quad (13)$$

Bằng việc áp dụng tín hiệu điều khiển F_x được thiết kế theo phương pháp điều khiển trượt, hệ thống hoàn toàn thỏa mãn điều kiện ổn định Lyapunov.

Các tín hiệu điều khiển F_y và F_z cho vị trí theo các trục y và z có thể được xác định bằng phương pháp tương tự thông qua việc áp dụng cùng nguyên lý thiết kế mặt trượt và hàm Lyapunov tương ứng.

$$\begin{cases} F_y = (m_q + m_l) \left[-k_2 \cdot \text{sgn}(S_y) + c_2 \dot{g}_2 + \frac{m_q + 2m_l}{m_q + m_l} \ddot{g}_2 - c_2 \dot{y} + c_2 \dot{y}_d + \ddot{y}_d \right] \\ F_z = (m_q + m_l) \left[-k_3 \cdot \text{sgn}(S_z) + c_3 \dot{g}_3 + \frac{m_q + 2m_l}{m_q + m_l} \ddot{g}_3 - c_3 \dot{z} + c_3 \dot{z}_d + \ddot{z}_d \right] \end{cases}$$

(14)

2.3.2. Bộ điều khiển độ dài dây cáp

Theo phương pháp điều khiển trượt để đạt được mục tiêu điều khiển chính xác độ dài dây cáp trong hệ thống quadrotor mang tải treo, biến sai số chiều dài dây cáp, mặt trượt và hàm Lyapunov tương ứng được định nghĩa như sau:

$$\begin{cases} e_L = L - L_d \\ S_L = c_4 e_L + \dot{e}_L; c_4 > 0 \\ V_L = \frac{1}{2} S_L^2 \end{cases} \quad (15)$$

Trong đó: L_d - Chiều dài mong muốn của dây cáp.

Đạo hàm bậc 1 của V_L được xác định:

$$\dot{V}_L = S_L \dot{S}_L = S_L (c_4 \dot{L} + \frac{F_L}{m_l} + C) \quad (16)$$

Với

$$C = g C_\alpha C_\beta - \ddot{x}_1 S_\alpha C_\beta - \ddot{y}_1 S_\beta + \ddot{z}_1 C_\alpha C_\beta + L \dot{\beta}^2 + L \dot{\alpha}^2 C_\beta^2$$

Theo [5] bộ điều khiển trượt được thiết kế:

$$F_L = m_l (-k_4(t) \text{sgn}(S_L) - c_4 \dot{L} - C) \quad (17)$$

Trong đó $k_4(t) = k_4 |S_L|$ và k_4 là hằng số dương.

Thay phương trình vào ta có:

$$\dot{V}_L = S_L (-k_4 |S_L| \text{sgn}(S_L)) = -k_4 S_L^2 < 0 \quad (18)$$

Phương trình chứng minh rằng hệ thống điều khiển chiều dài dây cáp của quadrotor đạt ổn định.

2.3.3. Mô phỏng và đánh giá kết quả

Giả thiết quadrotor treo tải với độ dài dây cáp 0,25 m và khối lượng tải 0,5 kg. Vì mô hình động học góc quay không thay đổi nên trong phần này chỉ tập trung vào bám vị trí và góc dao động của tải trọng.

Quỹ đạo tham chiếu có dạng:

$$\begin{cases} x_d = 2.5 \left(1 + \text{sgn} \left(\sin \frac{\partial t}{20} \right) \right) \\ y_d = 2.5 \left(1 + \text{sgn} \left(\cos \frac{\partial t}{20} \right) \right) \\ z_d = 0.25t + 0.5 \end{cases} \quad (19)$$

Góc psi đặt trước $\psi_d = 0$ (rad) và vị trí ban đầu của quadrotor (0; 0; 0,5).

Tham số của quadrotor:

Khối lượng: $m = 1,776$ (kg)

Gia tốc: $g = 9,81$ (m/s²)

Hệ số lực đẩy: $k_T = 0.0087$ (N.s²)

Hệ số mô-men cản: $k_d = 55.10^{-6}$ (N.m.s²)

Độ dài: $L = 0,225$ (m)

Mô-men quán tính trục x:

$I_{xx} = 0,0035$ (kg.m²)

Mô-men quán tính trục y:

$I_{yy} = 0,0035$ (kg.m²)

Mô-men quán tính trục z:

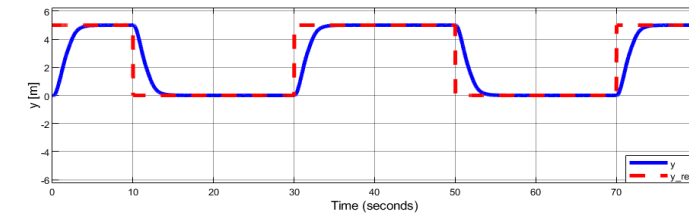
$I_{zz} = 0,0055$ (kg.m²)

Mô-men quán tính của cánh quạt:

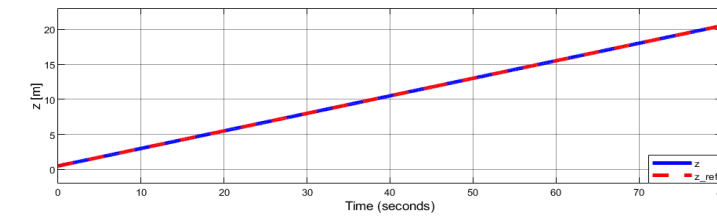
$J = 2,8.10^{-6}$ (kg.m²)

Hệ số cản: $k_{cx} = k_{cy} = k_{cz} = 5,567.10^{-4}$ (N.s/m); $k_{d\phi} = k_{d\theta} = k_{d\psi} = 5,567.10^{-4}$ (N.m.s²)
Các tham số của bộ điều khiển

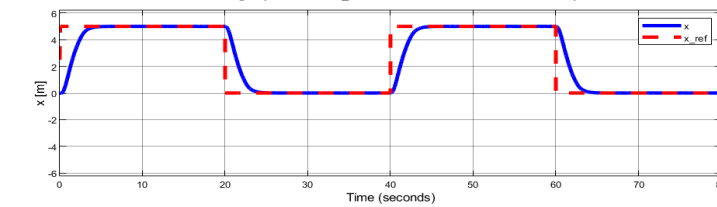
$c_x = c_y = c_z = 1,55$; $c_\phi = c_\theta = c_\psi = 10$;
 $k_x = k_y = k_z = 0,75$; $k_\phi = k_\theta = k_\psi = 100$;
 $n_x = n_y = n_z = 1$; $n_\phi = n_\theta = n_\psi = 1$.



a. Quỹ đạo quadrotor theo trục x

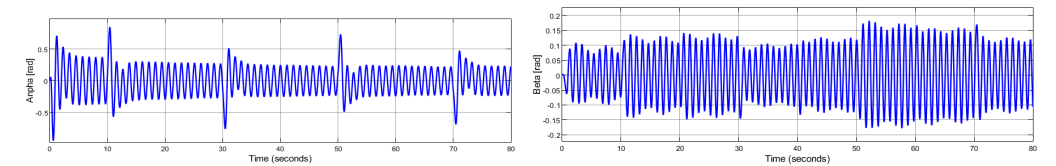


b. Quỹ đạo quadrotor theo trục y

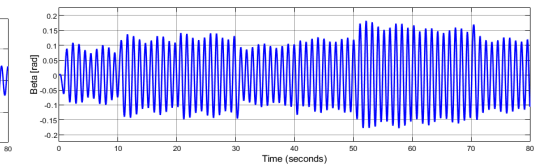


c. Quỹ đạo của quadrotor theo trục z

Hình 3. Quỹ đạo quadrotor theo các trục tọa độ.

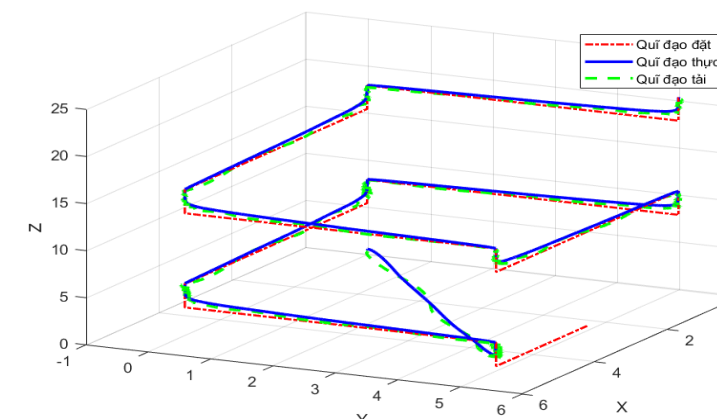


a. Góc dao động Alpha



b. Góc dao động Beta

Hình 4. Các góc dao động của tải



Hình 5. Quỹ đạo của quadrotor và tải.

Kết quả mô phỏng quá trình bám quỹ đạo theo các trục tọa độ được trình bày trên hình 3 (a, b, c).

Quadrotor có thể bám theo quỹ đạo mong muốn, đối với quỹ đạo x mất 5 giây, tương tự với quỹ đạo y, z là 5 giây và 2,5 giây.

Kết quả mô phỏng các góc dao động được trình bày trên hình 4 (a, b). Các góc dao động của tải treo khá lớn và hệ thống dao động đáng kể khi quadrotor chuyển hướng đột ngột. Sau đó, dao động sẽ giảm khi quadrotor di chuyển theo hướng x hoặc y.

Trong hình 5 thể hiện rõ hơn quỹ đạo của quadrotor và tải treo trong không gian.

3. TRAO ĐỔI VÀ KẾT LUẬN

Tải trọng treo được mô hình hóa dưới dạng con lắc, trong đó tải được xem xét như một khối lượng điểm treo bên dưới quadrotor. Khi

đó, mô hình khảo sát này có 9 bậc tự do chỉ với 5 đầu vào điều khiển, được xây dựng dựa trên phương trình Lagrange. Mặc dù chưa có giải pháp triệt tiêu hoàn toàn góc dao động của tải trọng, nhưng bằng cách coi ảnh hưởng của tải như nhiễu, bộ điều khiển trượt vẫn đảm bảo cho quadrotor bám sát quỹ đạo đặt trước, đồng thời giới hạn góc dao động trong ngưỡng cho phép để hệ thống có thể hoạt động ổn định.

Thông qua mô phỏng, bài báo đã xây dựng mô hình và kiểm tra hiệu quả hoạt động của bộ điều khiển trượt kết hợp với bộ quan sát trạng thái mở rộng trong nhiệm vụ ổn định và bám quỹ đạo của hệ thống. Kết quả cho thấy bộ điều khiển đề xuất có khả năng dẫn hướng quadrotor theo các quỹ đạo định sẵn, ngay cả trong điều kiện tải trọng treo dao động liên tục. Đồng thời, bài báo cũng chứng minh được ưu điểm của phương pháp điều khiển trượt trong việc giảm thiểu những ảnh hưởng của các yếu tố bất định và nhiễu bên ngoài, góp phần nâng cao chất lượng điều khiển.

Kết quả nghiên cứu của bài báo có ý nghĩa thực tiễn, có thể áp dụng trong việc thiết kế và vận hành các hệ thống quadrotor có treo tải trong thực tế, giúp nâng cao hiệu quả và độ tin cậy trong các hoạt động vận chuyển và thu thập dữ liệu bằng quadrotor.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

A. M. Elshaer and M. M. Abd El Aziz, "Recent advances and challenges in controlling quadrotors with suspended loads," Alexandria Engineering Journal, vol. 61, no. 12, pp. 12343–12358, 2022.

X. Liang, H. Yu, Z. Zhang and J. Han, "Unmanned aerial transportation system with flexible connection between the

quadrotor and the payload: Modeling, controller design, and experimental validation", IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 70, no. 2, pp. 1870–1882, 2022.

J. Huang, H. Tao and J.-Q. Sun, "Suppressing UAV payload swing with time-varying cable length through nonlinear coupling", Mechanical Systems and Signal Processing, vol. 185, p. 109790, 2023.

C.Xinyu, Z.Yongsheng, "Adaptive integral backstepping control for a quadrotor with suspended flight," in Proc. 5th Int. Conf. Automation, Control and Robotics Engineering (CACRE), IEEE, pp. 226–234, 2020.

Y. Wang, D. Li, and J. Huang, "Adaptive sliding mode control for quadrotor payload swing with variable-length cable", in Proc. IEEE 12th Data Driven Control and Learning Syst. Conf. (DDCLS), pp. 1924–1929, 2023.

M. A. Basal, "Advanced Sliding Mode Control with Disturbance Rejection Techniques for Multi-DOF Robotic Systems", J Robot Control (JRC), vol. 6, no. 4, pp. 1612–1623, Jun. 2025.

M. Labbadi, Y. Boukal, "Advanced Robust Nonlinear Control Approaches for Quadrotor Unmanned Aerial Vehicle: Roadmap to Improve Tracking-Trajectory Performance in the Presence of External Disturbances", vol. 384. Springer Nature, 2021.

S. Tokat, M and O. Eray, "A classification and overview of sliding mode controller sliding surface design methods," in Recent Advances in Sliding Modes: From Control to Intelligent Mechatronics, pp. 417–439, 2015.

EFFECT OF VIBRATION AMPLITUDE ON MECHANICAL RESPONSE IN MACHINING OF NiCrFe ALLOY

Dinh-Quan Doan^{1*}, Huu-Chuyen Vu¹

¹Faculty of Mechanical Engineering,
Hung Yen University of Technology and Education

*Email: dinhquandoan@gmail.com

ABSTRACT

This study investigates the cutting behavior of NiCrFe alloys under conventional and vibration-assisted cutting processes through molecular dynamics simulations. The study focuses on investigating the changes caused by tool vibrations on the mechanical response, deformation characteristics, and structural evolution during cutting at the nanoscale. The presence of vibration alters the interaction between the tool and the workpiece, creating periodic changes in contact and affecting the direction of mechanical load application. Simulations show that vibration not only reduces the cutting force but also influences the distribution and accumulation of shear strain around the cutting zone. Different vibration amplitudes are tested to clarify their role in mechanical deformation and material removal. The results show that increasing amplitude leads to a decrease in cutting force, a decrease in the friction coefficient, and an increase in the amount of material removed. These findings provide detailed atomic-level insights into enhanced material removal and morphological changes of machined surfaces under the influence of vibration.

Keywords: Amplitude vibration, molecular dynamics simulation, NiCrFe alloy, vibration-assisted cutting.

Ngày nhận bài: 17/11/2025; **Ngày sửa bài:** 18/12/2025; **Ngày duyệt đăng:** 20/12/2025

1. Introduction

Nickel-based alloys such as Ni-Cr-Fe alloys are widely used in transportation, energy, and aerospace technologies due to their high strength, thermal stability, and strong resistance to oxidation and corrosion [1, 2]. These properties make them ideal for parts working in harsh environments, but Ni-based alloys are also classified as difficult-to-machine materials [3, 4]. NiFeCr alloys exhibit high mechanical performance and stable microstructure, but their high hardness and work-hardening tendency lead to strong cutting forces, high heat generation, and rapid tool wear during conventional machining [5]. These limitations reduce machining efficiency, especially since subsurface damage and residual stress play a significant

role in the service life of machine parts. To overcome these challenges, many advanced machining techniques have been studied, including electrochemical machining, laser machining, and abrasive waterjet machining [6, 7]. Among them, vibration-assisted cutting (VAC) has shown significant potential in improving the machining of hard and brittle materials [8, 9]. By creating controlled vibrations that impact the tool or workpiece, VAC can intermittently reduce tool and material contact, leading to reduced cutting forces, improved workpiece formation, and increased material removal rates. Previous studies on vibration-assisted machining have reported reduced cutting forces, friction coefficients, surface damage, and improved cutting stability compared to

conventional machining [10, 11]. These improvements are particularly important for alloys with complex deformation behaviors, such as Ni-based systems and high-entropy alloys [12]. However, the fundamental mechanisms governing the mechanical properties, deformation mechanisms, and microstructure evolution during the VAC process of NiCrFe alloys are still not well understood. Experimental observation of interactions at the micro or nanoscale level is difficult due to technological limitations, high costs, and the transient nature of machining processes. Therefore, molecular dynamics (MD) simulation has emerged as a powerful tool for exploring cutting processes at the atomic level [13]. MD allows detailed analysis of stress-strain distribution and microstructure evolution, providing additional insights to experimental findings and supporting optimization of machining parameters [14].

Therefore, the present study investigates VAC of NiCrFe alloys using MD simulations. The effects of vibration amplitude on cutting forces, friction coefficient, shear strain distribution, microstructural evolution, and surface morphology are compared with conventional cutting (CC) methods. The study results aim to clarify the deformation mechanism of NiCrFe alloys under the influence of vibration and provide a theoretical basis for improving their machinability in practical applications.

2. Physical model and simulation setup

Figure 1 illustrates a simulation model of the NiCrFe alloy cutting process. This model features a spherical diamond cutting tool and a substrate made of NiCrFe alloy. The workpiece is modeled as a single crystal NiCrFe alloy with a face-centered cubic FCC structure. The model has dimensions of $250 \text{ \AA} \times 150 \text{ \AA} \times 120 \text{ \AA}$, containing atoms with the alloy composition 51% Ni, 32% Fe, and 17% Cr. The workpiece is divided into three functional regions: a fixed layer to constrain rigid body motion, a thermostat layer to control temperature, and a Newtonian layer where atoms moved freely according to classical Newtonian dynamics [15]. A diamond tool with a spherical geometry is used as the cutting tip and treated as a rigid body.

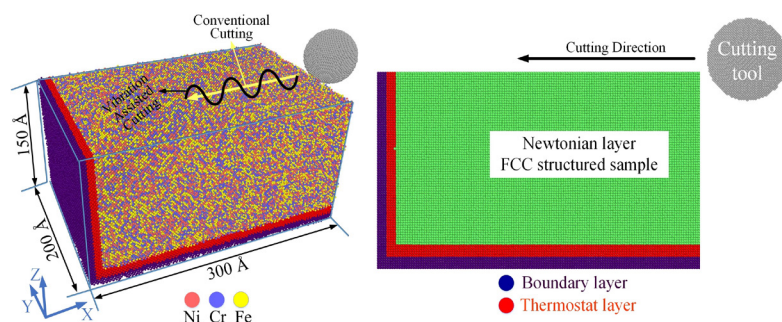


Figure 1. Physical model for MD simulation of the cutting process of single-crystal NiCrFe alloy: the simulation model of the cutting process includes the substrate and the cutting tool.

The interactions between atoms in the NiCrFe alloy are described by the Embedded Atom Method (EAM) potential, which is widely used in other studies of metals and alloys [16]. Meanwhile, the interaction between the diamond tool and the metal atoms is modeled using the Lennard-Jones potential [17]. Before machining, the entire model undergoes energy minimization and thermal relaxation

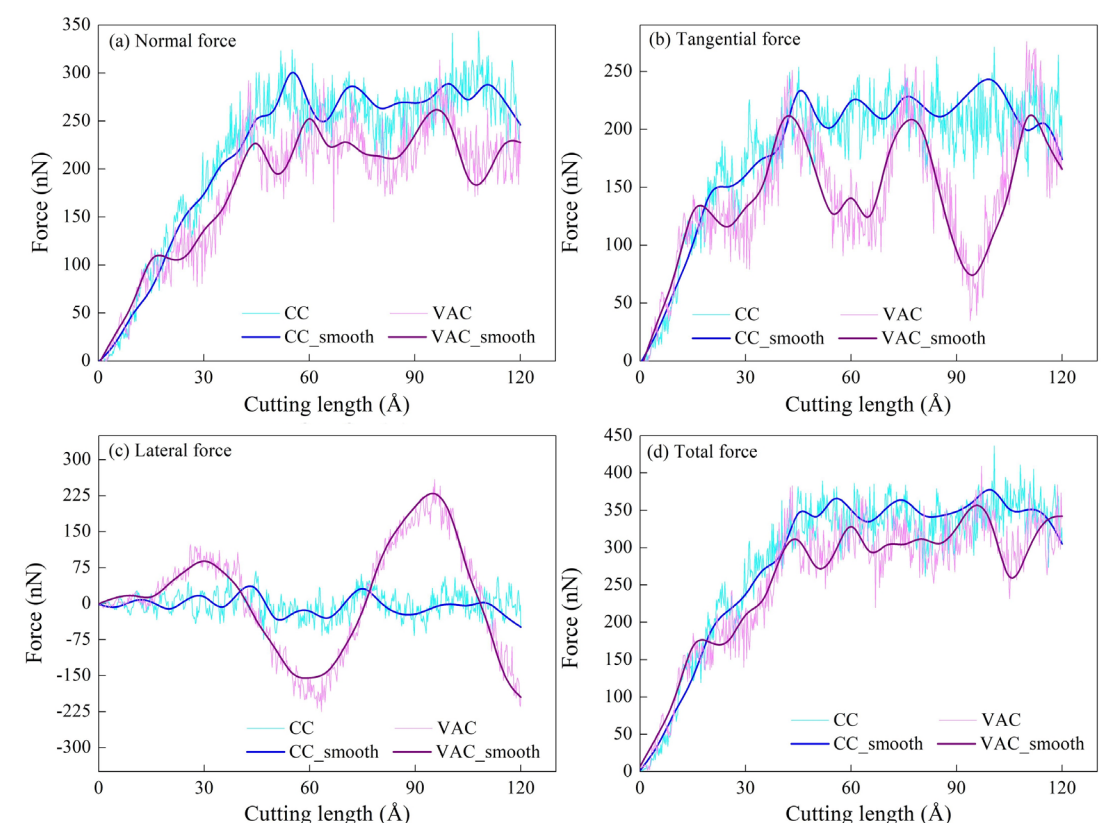
at 300 K using the NVT ensemble to achieve equilibrium. During cutting, the Newtonian atoms are integrated under the NVE ensemble to capture thermal variations induced by tool and workpiece interaction. A time step of 1 fs is used in the MD simulation. Periodic boundary conditions are applied along the Y-direction to minimize size effects, while the X- and Z-directions are treated as non-periodic. Both CC and VAC processes are simulated with similar machining parameters. The tool moves along the X-axis with a cutting speed of 100 m/s, a penetration depth of 20 Å, and a machining length of approximately 120 Å. In VAC mode, the tool moves along a sinusoidal trajectory determined by the vibration amplitude and frequency. A set of amplitudes ($A = 5\text{-}20 \text{ \AA}$) and a

study the influence of tool vibration on the mechanical behavior and material removal. These values are consistent with the frequencies commonly used in MD studies of vibration machining.

All molecular dynamics (MD) simulations to perform machining behavior testing of NiCrFe alloys under CC and VAC conditions are performed using LAMMPS software [18]. After the simulation, the results are analyzed in terms of structural evolution, strain distribution, and defect formation using OVITO [19].

3. Results and discussion

3.1. Mechanical properties of conventional cutting (CC) and vibration-assisted cutting (VAC)



fixed frequency of 15 GHz are chosen to

Figure 2. Comparison of force components during conventional cutting (CC) and vibration-assisted cutting (VAC).

Figure 2 shows the cutting-force components change during machining under two conditions: without vibration and with vibration assistance. In the VAC simulation, the cutting tool is driven with an oscillation amplitude of 15 Å and a frequency of 15 GHz, creating a periodic contact cycle. Normal, tangential, lateral, and total forces are recorded at each cutting step to track the force development along the machining length. In Figure 2, the force components are displayed using two types of curves to highlight the difference between the raw and processed signals. The cyan curve for the non-vibration case and the light magenta curve for the VAC show the raw force data directly from the molecular dynamics simulation, which contains strong fluctuations. The blue curve for the non-vibration case and the purple curve for the VAC show the smoothed data, in which small local fluctuations have been filtered out to make it easier to observe the force trend. This visualization helps to compare the force development under the two machining conditions. In terms of mechanical property, the initial stage of the cutting process (from 0 to about 15 Å) shows a nearly linear increase in force for both methods, indicating that the material undergoes mainly elastic deformation. When the cutting distance is larger than 15 Å, the force increases more strongly and becomes nonlinear, marking the beginning of plastic deformation and lattice displacement. As the tool moves deeper, from about 50 Å onwards, the process reaches a quasi-steady cutting stage. The force response of the two methods is clearly different. In the non-vibration, the forces only fluctuate slightly around a nearly constant value, while the forces show clear periodic

oscillations with larger amplitudes due to the repeated contact and separation of the tool in the vibration-supported. The tangential and normal forces in the vibration-supported case also oscillate at twice the frequency of the transverse force, reflecting two collision events per vibration cycle in the longitudinal direction.

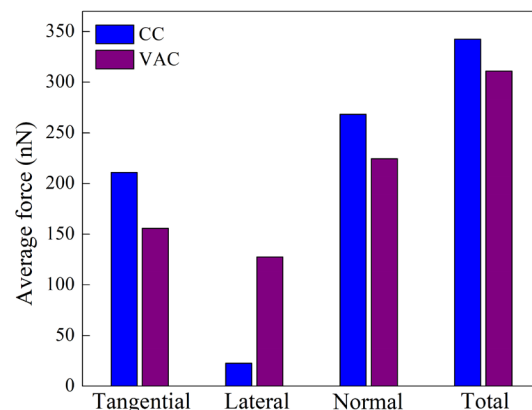


Figure 3. Average force during conventional cutting (CC) compared to vibration-assisted cutting (VAC).

To compare the force differences more clearly, the force components in the steady stage from 50 Å to 120 Å are averaged, and the results are shown in Figure 3. The averaged tangential and normal forces in the CC process are noticeably higher than those in the VAC, while the average absolute value of the lateral force is larger in the VAC because it oscillates around zero. The average total force in VAC is much lower than in the non-vibration case, showing that applying vibration helps reduce the mechanical load on the cutting tool. It should be noted that the shear force obtained in this study is higher than the values reported for HEA materials by both conventional and vibration-assisted cutting methods, reflecting differences in material composition and mechanical response [12]. These observations clearly

indicate that the intermittent contact caused by vibration not only reduces the actual tool and workpiece contact time but also lowers the average cutting forces, even if the instantaneous peak forces may be higher at certain moments.

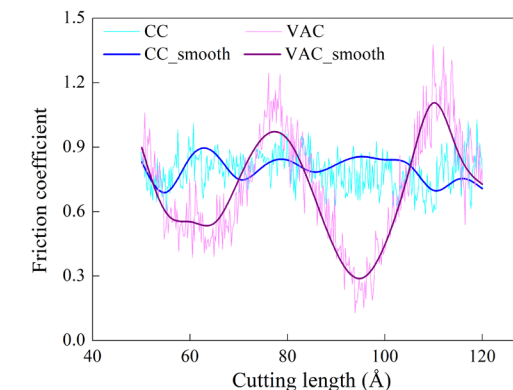


Figure 4. Comparison of the change in friction coefficient during conventional cutting (CC) versus vibration-assisted cutting (VAC).

Figure 4 compares the change in friction coefficient during the CC and VAC processes. The coefficient of friction is defined as the ratio between the tangential and normal forces. The result shows that both cutting processes exhibit a gradual decrease in friction after the tool begins to stabilize on the workpiece, marking a transition from initial elastic deformation to a more stable cutting state.

A notable difference emerges in the oscillation behavior of the two machining conditions. The VAC process displays a significantly larger oscillation amplitude than the CC process, resulting from periodic contact loss cycles caused by vibrations. After the process reaches a steady state, the smoothed curves show

a clear difference in the average friction level. Specifically, the average friction coefficient in CC process is approximately 0.79, while VAC process with an oscillation amplitude of 15 Å yielded a lower average value, approximately 0.71. This reduction is closely related to the intermittent contact mechanism, meaning that as the tool moves along a sinusoidal trajectory in the XY plane, brief moments occur when the tool separates from the workpiece surface, significantly reducing the average contact area over time. Furthermore, the continuous changes in sliding velocity and direction inherent in pulsating cutting cause the contact interface to alternate between sliding, separation, and impact. These rapid transitions inhibit the development of a stable adhesive contact, redistribute local stresses, and limit the accumulation of plastic deformation. Therefore, although the coefficient of friction in pulsating cutting fluctuates more strongly, its average value is still significantly lower than that of CC.

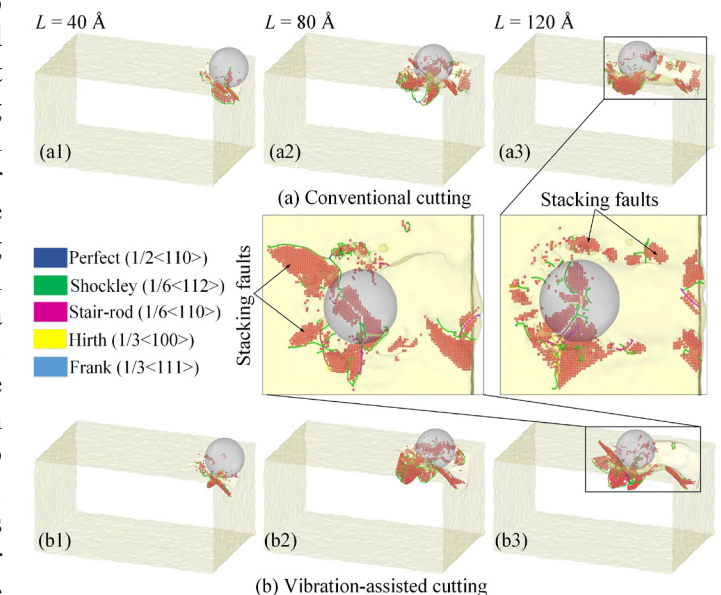


Figure 5. Dislocation evolution (b1-b4 and d1-d4) in samples under conventional cutting (CC) and vibration-assisted cutting (VAC).

Figure 5 shows the evolution of dislocations in the samples as the cutting length increases under CC and VAC. DXA (Dislocation Extraction Algorithm) analysis reveals that cutting generates a highly deformed zone around the tool tip. At the early stage ($L = 40 \text{ \AA}$), Shockley partial dislocations nucleate at the contact region, indicating slip on the $\{111\}$ planes as the main deformation mechanism in the FCC structure. When the cutting length reaches $80 \text{ \AA}$ and $120 \text{ \AA}$, the density of dislocations and defects such as stacking faults, Shockley and stair-rod dislocations increases, reflecting the accumulation of plastic deformation and the release of stored elastic energy. The two machining methods show different dislocation behavior. In the CC process, the dislocations form a dense, interconnected network extending deep into the subsurface layer, and local Shockley dislocations develop into wide stacking-fault bands. In the VAC process, periodic vibrations interrupt the formation and development of dislocations, reducing their density and average length. The dislocations become more dispersed and their penetration depth is limited. The amorphous layer on the surface is also smaller, indicating better local structural resilience under the influence of vibrations. Figure 6 presents the total dislocation length according to the cutting distance during the CC and VAC. Both methods show a strong increase due to growing plastic deformation, but CC consistently produces longer dislocation lengths. At $L < 40 \text{ \AA}$, dislocation formation in VAC is slower because vibration weakens early nucleation. Between $60\text{-}100 \text{ \AA}$, both curves rise rapidly, though the increase is steeper in the CC, suggesting more severe deformation. At the final

stage ($L \approx 120 \text{ \AA}$), the curves converge as the dislocation network approaches saturation. Nevertheless, VAC maintains a lower and more stable dislocation length, consistent with the more dispersed dislocation distribution observed in Figure 6.

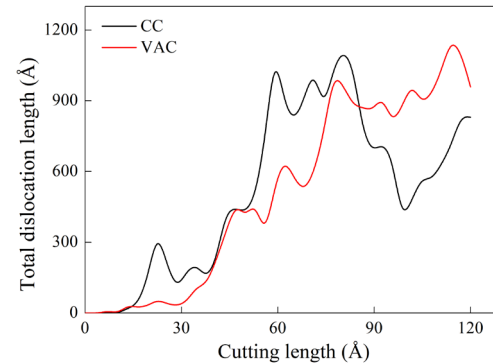


Figure 6. Comparison of total dislocation length in the substrate during conventional cutting (CC) and vibration-assisted cutting (VAC).

3.2. Effect of vibration amplitude

Figure 7 illustrates the variation of cutting force components under different vibration amplitudes during machining at a vibration frequency of 15 GHz . The cutting process is performed at a vibration frequency of 15 GHz and a cutting speed of 100 m/s . At the initial stage ($L < 50 \text{ \AA}$), the normal and tangential forces increase rapidly as the cutting tool begins to contact the workpiece and causes local plastic deformation. As the cutting length increases to $50\text{-}120 \text{ \AA}$, the force fluctuates around more stable average values. Increasing the vibration amplitude leads to a larger range of oscillation of the force components, clearly reflecting the effect of harmonic motion on the contact area. The normal and tangential forces vary cyclically with the oscillation period. Meanwhile, the transverse force oscillates around a value close to zero and increases in amplitude at

higher oscillation amplitudes, indicating enhanced transverse shear strain and easier atomic movement toward both sides of the groove. The total force also exhibits harmonic oscillation, with the amplitude increasing proportionally with the oscillation amplitude, demonstrating stable energy transfer from the cutting tool to the workpiece.

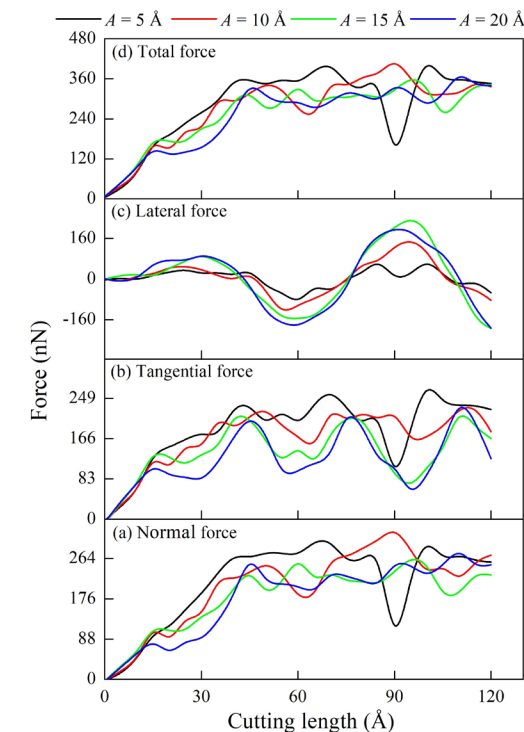


Figure 7. Dependence of cutting force components on different vibration amplitudes.

Figure 8 shows the average cutting force versus vibration amplitude, calculated in the stable cutting zone from 50 to $120 \text{ \AA}$. The result shows a significant effect of vibration amplitude on cutting force. Tangential and normal forces decrease with increasing amplitude, as vibration reduces the effective contact time between the tool and the workpiece surface. Conversely, lateral force increases with amplitude, reflecting increased lateral displacement

and strain dispersion in the groove. Total force decreases slightly with increasing amplitude from $5 \text{ \AA}$ to $15 \text{ \AA}$ and remains almost constant at higher amplitudes, indicating that larger vibration amplitude reduces cutting force and improves material removal efficiency.

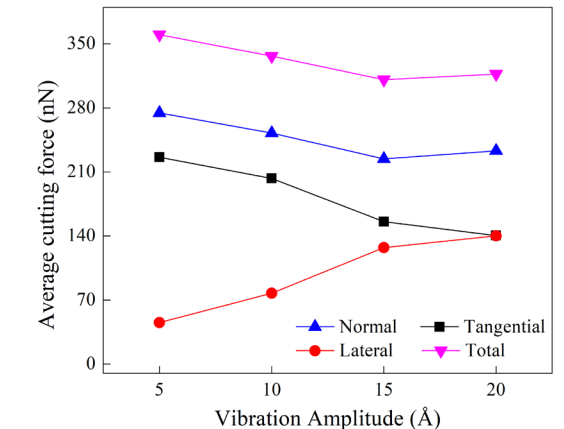


Figure 8. Graph of average cutting force components as a function of vibration amplitude.

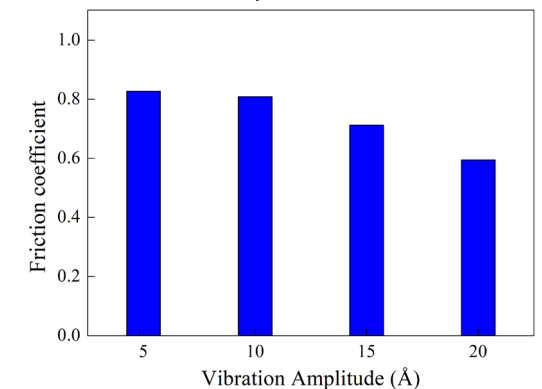


Figure 9. Graph of average friction coefficient as a function of vibration amplitude.

Figure 9 shows the graph of the average friction coefficient as a function of vibration amplitude during steady-state cutting. The result exhibits that the friction coefficient decreases as the vibration amplitude increases. At low amplitudes of $5 \text{ \AA}$ and $10 \text{ \AA}$, the friction coefficient remains around 0.8 , indicating that the impact oscillations are not yet sufficient to significantly alter the interaction

between the tool and the workpiece. As the amplitude increases to 15 Å and 20 Å, the friction coefficient decreases significantly to below 0.6, suggesting that larger vibrations effectively reduce the actual contact area and contact time between the tool and the surface. Although the trend is not entirely linear, the mechanical and frictional behavior shows that higher vibration amplitudes significantly reduce the average friction coefficient, highlighting the role of intermittent contact created by vibration in promoting more efficient cutting.

undergoes high shear strain, especially in the chip and the subsurface region in front of the tool, indicating stronger oscillatory movement that promotes more vigorous plastic cutting and facilitates chip evacuation. At the highest amplitude $A = 20$ Å, the high strain zone spreads further in width. This reflects the strong activation of atomic slip events due to the increased vibrational energy, allowing atoms to more easily overcome local energy barriers. Thus, the gradual expansion of the shear strain region with increasing amplitude suggests that

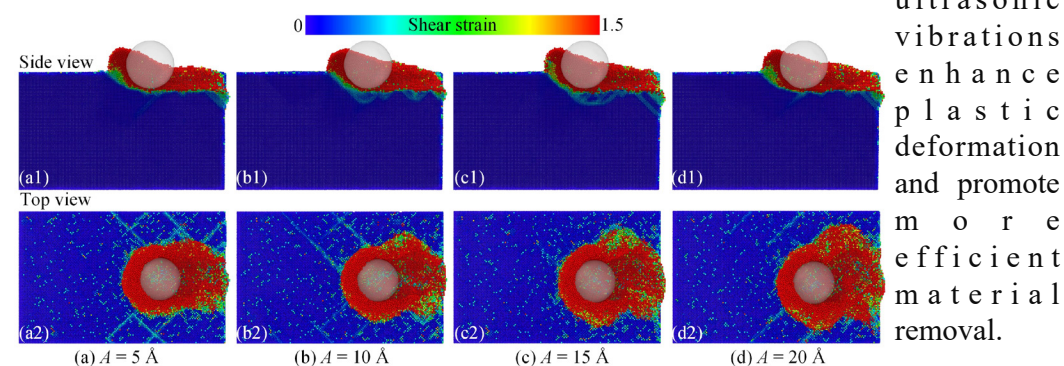


Figure 10. Shear strain distribution in the workpieces after the cutting process with different vibration amplitudes.

Figure 10 shows the shear strain distribution in the workpiece after the cutting process with different vibration amplitudes. At the smallest amplitude $A = 5$ Å, the plastic deformation zone remains relatively compact, mainly concentrated around the contact area between the tool and the workpiece and along the direction of chip flow. As the amplitude increases to $A = 10$ Å, both the side view and the top view show a significant expansion of the high deformation zone, indicating enhanced lateral displacement of atoms and more vigorous material flow around the cutting tool. At $A = 15$ Å, the deformation becomes significantly more pronounced. A larger volume of atoms

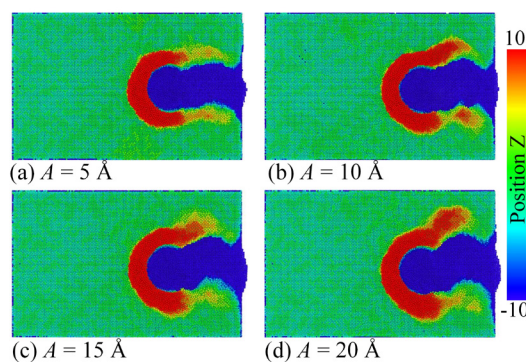


Figure 11. Surface morphology map of workpieces during the cutting process with different vibration amplitudes.

Figure 11 shows the surface morphology during cutting under different vibration amplitudes. The color of the atoms corresponds to the height of the worn atom relative to the original surface height in the Z direction. At an

amplitude $A = 5$ Å, the groove formed behind the tool is relatively narrow, and the lateral material displacement remains limited. The chip accumulation in front of the tool is clearly localized, indicating a stable but narrow material removal process. As the amplitude increases to $A = 10$ Å, the groove widens, and a large amount of material is pushed up and out, resulting in thicker chips and more pronounced chip piles along both edges of the groove. At $A = 15$ Å, the deformation becomes more significant, leading to a wider groove and a higher concentration of pushed atoms near the cutting surface. The material flow becomes increasingly dynamic, and the lateral redistribution of worn atoms becomes more apparent. At the highest amplitude $A = 20$ Å, the oscillating motion causes the widest material displacement. The chip area expands significantly and the chip pile height on both sides increases, reflecting enhanced atomic separation and a greater effective cutting depth. This gradual change suggests that the increased oscillation amplitude promotes stronger interaction between the tool and the surface, accelerating chip formation, and ultimately improving material removal efficiency in VAC.

Figure 12 exhibits the number of worn atoms of workpieces during the cutting process with different vibration amplitudes. The number of abraded atoms increases almost linearly with the cutting

distance, indicating continuous atomic separation and chip accumulation during sliding. At the lowest amplitude $A = 5$ Å, the rate of increase in the number of abraded atoms is smallest due to limited surface penetration and reduced material removal capacity. As the amplitude increases to $A = 10$ Å and $A = 15$ Å, the slope of the curve becomes steeper, indicating a higher atom separation rate due to stronger oscillating motion and more positive deformation around the cutting area. At the maximum amplitude $A = 20$ Å, the number of atom abraded is consistently higher than in other cases across the entire machining distance. This confirms that larger vibration amplitudes significantly increase the separation of surface atoms by increasing the instantaneous distance between the tool and the workpiece, facilitating bond breaking and promoting more efficient chip formation.

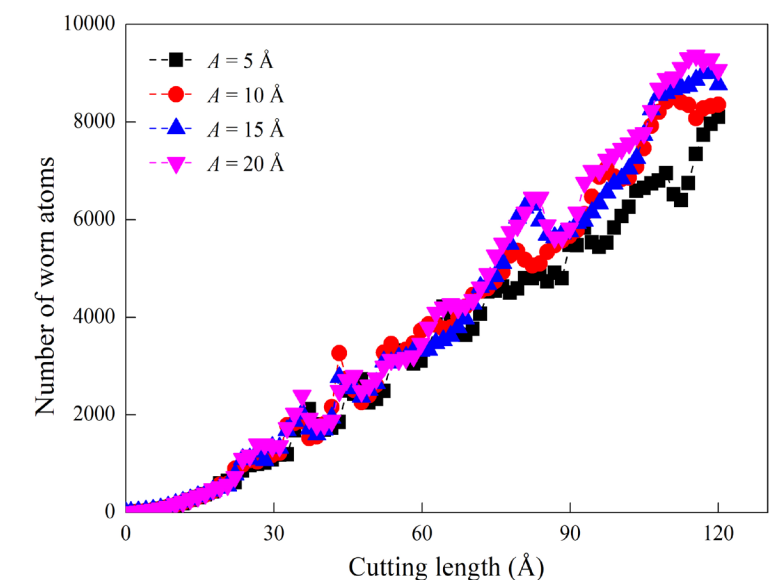


Figure 12. Number of worn atoms of workpieces during the cutting process with different vibration amplitudes.

4. Conclusions

In this study, the vibration-assisted cutting (VAC) process of NiCrFe alloy is investigated through molecular

dynamics simulation. Its mechanical response and microstructural evolution are systematically compared with conventional cutting (CC) to clarify the effect of vibration amplitude on material removal at the nanoscale. The results show that VAC significantly reduces cutting force and decreases the average friction coefficient during stable cutting. Microstructural observations reveal that vibration impact promotes interfacial bond disruption and atomic rearrangement, expanding the deformation zone and facilitating more continuous chip formation. The results clearly indicate that VAC provides more efficient and mechanically favorable cutting conditions by weakening the adhesion between the tool and workpiece and enhancing energy transfer at the interface.

The effect of vibration amplitude exhibited a pronounced nonlinear response. Increasing the amplitude leads to a significant reduction in cutting force and friction coefficient, especially beyond 10-15 Å, where periodic contact and separation become more pronounced. Surface morphology and chip characteristics also change strongly with amplitude. At small amplitudes ($A = 5$ Å), turbulence at the cutting interface is limited, resulting in narrow grooves and moderate material displacement. Conversely, medium and large oscillation amplitudes ($A \geq 10$ Å) produce wider grooves, more chip accumulation, and more worn atoms, due to stronger bond disruption between atoms and an expanded deformation zone. These results demonstrate that vibration amplitude is a crucial parameter governing material removal efficiency. Thus, the VAC process of NiCrFe alloy

shows that both mechanical behavior and microstructural evolution are strongly dependent on amplitude, highlighting its importance in optimizing machining performance at the nanoscale.

References

- [1] J. Chen, J. Xiao, L. Zhang, Interdiffusion behaviors between NiCrFe alloy and low-/medium-/high-entropy alloys, *Journal of Alloys and Compounds*, 896 (2022) 162711.
- [2] H. Xu, M. Zhang, G. Zhang, G. Li, G. Li, Microstructure and mechanical property of Al, Ti co-adding L21-strengthened NiCrFe-based HEAs, *Materials Characterization*, 207 (2024) 113516.
- [3] P. Zhang, X. Zhang, X. Yu, Y. Wang, Research on the nanocutting mechanism of Ni-Fe-Cr-based superalloys: conventional cutting versus UEVC, *Materials Today Communications*, 26 (2021) 101795.
- [4] D. Yang, Z. He, M. Zhang, Y. Liu, L. Li, Molecular dynamics investigation of femtosecond laser ablation of Inconel 718 alloy, *Journal of Manufacturing Processes*, 131 (2024) 984-1000.
- [5] Y. Fan, S. Yang, Z. Hao, Study on phase transformation in cutting nickel-based superalloy GH4169 based on molecular dynamics, *Journal of Materials Engineering and Performance*, 34 (2025) 11841-11854.
- [6] M. Yu, C. Zhang, D. Li, F. Wang, P. Sun, J. Cui, L. Du, Mechanism of surface hardness enhancement of aluminum alloy 2024-T3 by laser-induced plasma electrolyte jet machining, *Surface and Coatings Technology*, 507 (2025) 132141.
- [7] F. Ji, Y. An, Y. Xin, H. Guan, Evolutionary trends and research

hotspots in electrochemical machining: A bibliometric analysis from 2010 to 2023, *International Journal of Electrochemical Science*, 19 (2024) 100646.

[8] A. Rauf, M.A. Khan, S.H.I. Jaffery, S.I. Butt, Effects of machining parameters, ultrasonic vibrations and cooling conditions on cutting forces and tool wear in meso scale ultrasonic vibrations assisted end-milling (UVAEM) of Ti-6Al-4V under dry, flooded, MQL and cryogenic environments—A statistical analysis, *Journal of Materials Research and Technology*, 30 (2024) 8287-8303.

[9] V. Satpute, D. Huo, J. Hedley, C. Dale, A comprehensive experimental investigation into vibration-assisted micro-milling of monocrystalline silicon, *Journal of Manufacturing Processes*, 131 (2024) 12-26.

[10] C. Zhang, J. Wang, F. Jiao, Y. Cao, Research on tool wear and surface quality in laser-assisted ultrasonic elliptical vibration cutting of cemented carbide, *Tribology International*, 193 (2024) 109389.

[11] R. Jerez-Mesa, Microtexturing of industrial surfaces via radial ultrasonic vibration-assisted machining: An analytical model and experimental validation, *Surface and Coatings Technology*, 482 (2024) 130718.

[12] D.-Q. Doan, T.-H. Fang, Effect of vibration parameters on the material removal characteristics of high-entropy alloy in scratching, *International Journal of Mechanical Sciences*, 232 (2022) 107597.

[13] A. Shamsi, M.S. Khan, D.K. Yadav, M. Shahwan, M. Furkan, R.H. Khan, Structure-based drug-development study against fibroblast growth factor receptor 2: molecular docking and Molecular dynamics simulation

approaches, *Scientific Reports*, 14 (2024) 19439.

[14] Z. Ren, R. Feng, B. Zhou, H. Cao, H. Li, W. Yang, C. Lei, Molecular dynamics simulation for temperature assisted machining of a polycrystalline γ -TiAl alloy, *Journal of Manufacturing Processes*, 132 (2024) 615-628.

[15] A.B.M. Ali, D.J. Jasim, A.a. Alizadeh, C.K. Chan, S. Salahshour, M. Hekmatifar, A molecular dynamics study of the effect of initial pressure on the mechanical resilience of aluminum polycrystalline, *Results in Engineering*, 24 (2024) 102879.

[16] T.-X. Bui, T.-H. Fang, C.-I. Lee, Effects of inclusion type and inclusion radius on deformation characteristic and failure mechanism inside monocrystalline NiFeCr alloy, *Journal of Alloys and Compounds*, 962 (2023) 171062.

[17] X.-Y. Song, X.-B. Liu, A. Zhou, F.-Z. Zhang, Z.-Y. Liu, J. Xia, S.-H. Zhang, Effect of mixing entropy on nano-scratching behavior in FCC polycrystalline MPEAs: A comprehensive study by molecular dynamics simulation and experiment integration, *Tribology International*, 200 (2024) 110088.

[18] A.P. Thompson, H.M. Aktulga, R. Berger, D.S. Bolintineanu, W.M. Brown, P.S. Crozier, P.J. In't Veld, A. Kohlmeyer, S.G. Moore, T.D. Nguyen, LAMMPS—a flexible simulation tool for particle-based materials modeling at the atomic, meso, and continuum scales, *Computer physics communications*, 271 (2022) 108171.

[19] A. Stukowski, Visualization and analysis of atomistic simulation data with OVITO—the Open Visualization Tool, *Modelling and simulation in materials science and engineering*, 18 (2009) 015012.

TỐI ƯU THÔNG SỐ THIẾT KẾ HỆ THỐNG ĐỆM CÁCH DAO ĐỘNG CABIN MÁY XÚC LẬT

Cảnh Chí Huân¹, Nguyễn Tiến Hán², Lê Văn Quỳnh^{3*}, Tô Ngọc Thiện⁴

^{1,3} Khoa Ô tô và Năng lượng, Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp, Đại học Thái Nguyên

² Trung tâm Công nghệ Ô tô và Đào tạo lái xe, Đại học Công nghiệp Hà Nội

⁴ Khoa Cơ khí-Ô tô và Xây dựng, Trường Đại học Điện lực

*Email: lequynh@tnut.edu.vn

ABSTRACT

The construction machinery market not only requires high operating efficiency but also demands improved ride comfort under harsh operating conditions. In this study, a three-dimensional dynamic model of a wheel loader is established to analyze its dynamic characteristics and to identify suitable parameters of the vibration isolation system of, thereby improving the ride comfort of the driver. The optimization problem is solved using a genetic algorithm (GA) combined with a weighted multi-objective approach. The evaluation criteria are formulated based on the root mean square (RMS) vertical acceleration of driver's seat as well as the RMS pitch and roll angular accelerations of the cab. The optimization results indicate that all three objective functions are reduced when vehicle on ISO class D surface road, the speed of $v = 5$ km/h and full load. Specifically, machine ride comfort is improved by 13.57%, 24.02% and 12.56% compared with the original design parameter set. The obtained results provide a reliable scientific basis for the design and optimization of cab's vibration isolation systems for construction machinery.

Keywords: Wheel loader, vibration isolation system, vibration model, ride comfort

TÓM TẮT

Thị trường máy xây dựng hiện nay không những yêu cầu hiệu quả làm việc cao mà còn yêu cầu bảo đảm máy hoạt động êm dịu trong môi trường khắc nghiệt. Trong nghiên cứu này, một mô hình dao động không gian của máy xúc lật được thiết lập để phân tích đặc tính động lực học và tìm ra bộ thông số phù hợp cho hệ thống cách ly dao động cabin nhằm cải thiện độ êm dịu cho người điều khiển máy. Bài toán tối ưu được giải quyết bằng thuật toán di truyền kết hợp với cách tiếp cận tối ưu đa mục tiêu có trọng số. Các hàm mục tiêu được xây dựng dựa trên gia tốc bình phương trung bình theo phương thẳng đứng của ghế người lái, cùng với các dao động góc lắc dọc và lắc ngang của cabin. Kết quả tối ưu đã chỉ ra rằng các giá trị của ba hàm mục tiêu đều giảm khi máy chuyển động trên mặt đường xấu ISO cấp E với vận tốc $v = 5$ km/h và đầy tải; điều này cho thấy độ êm dịu của máy xúc lật với bộ thông số tối ưu được cải thiện lần lượt 13,57%, 24,02% và 12,56% so với bộ thông số thiết kế nguyên bản. Các kết quả thu được cung cấp cơ sở khoa học đáng tin cậy cho quá trình thiết kế và tối ưu hệ thống cách ly dao động cabin cho máy xây dựng.

Từ khóa: Máy xúc lật, đệm cách ly dao động, mô hình dao động, độ êm dịu

Ngày nhận bài: 10/11/2025; **Ngày sửa bài:** 26/11/2025; **Ngày duyệt đăng:** 20/12/2025

1. MỞ ĐẦU

Máy xây dựng là loại máy thường xuyên hoạt động trên mặt đường phức tạp, kết cấu của máy thường không trang bị hệ thống treo nổi đàn hồi giữa cầu xe và khung xe, dao động phát sinh trong quá trình làm việc của máy có xu hướng lan truyền đến người điều khiển thông qua hệ thống cách ly dao động cabin và hệ thống treo ghế. Hostens và Ramon [1] đã chỉ ra rằng các dao động truyền từ cabin đến cột sống người lái có thể vượt ngưỡng gây khó chịu, kết quả nghiên cứu đã chỉ ra rằng Các phân tích cho thấy đặc tính giảm chấn của hệ thống treo ghế kết hợp với hệ thống cách ly dao động cabin có ảnh hưởng đáng kể đến mức độ êm dịu trong quá trình vận hành máy xây dựng và máy nông nghiệp. Trong một nghiên cứu liên quan, Le Van Quynh và cs. [2] đã xây dựng mô hình dao động phi tuyến của máy lu rung bánh đơn nhằm phân tích ảnh hưởng của các điều kiện làm việc khác nhau đến đặc tính êm dịu trong dải tần kích thích thấp. Các kết quả phân tích cho thấy các kích thích dao động từ mặt nền đóng vai trò chi phối đối với mức độ êm dịu của người điều khiển. Le Van Quynh và Vi Thi Phuong Thao [3] đã tiếp cận bài toán đánh giá độ êm dịu của máy lu rung bánh kép thông qua việc xây dựng mô hình dao động 07 bậc tự do. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng các thông số thiết kế của hệ thống cách ly dao động cabin giữ vai trò quan trọng trong việc chi phối đặc tính êm dịu của máy. Vu Ngọc Quỳnh và cs. [4] đã tiếp cận bài toán đánh giá độ êm dịu của máy xúc lật thông qua mô hình dao động, qua đó phân tích tác động của các thông số thiết kế hệ thống cách ly dao động cabin. Các kết quả phân tích cho thấy những thông số này có ảnh hưởng đáng kể đến đặc tính êm dịu của máy. Huan và cs. [5] đã phân tích đặc tính cản của hệ thống đệm cách ly dao động cao su – thủy lực thông qua mô hình dao động của máy xúc, cho thấy hệ số cản thủy lực có tác dụng rõ rệt trong việc suy giảm dao động ở vùng tần số kích thích thấp. Tiếp cận này tiếp tục được mở rộng trong nghiên cứu của Huan và

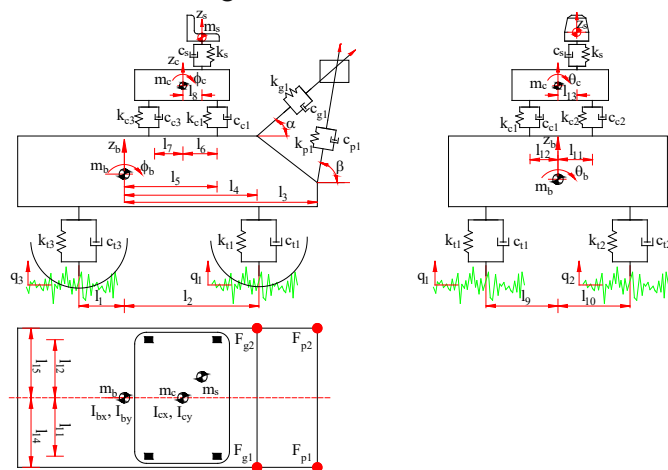
cs.[6], một mô hình dao động không gian của máy xúc lật được phát triển để đánh giá ảnh hưởng của đặc tính cản thủy lực qua khe vành khuyên của đệm cao su – thủy lực. Kết quả cho thấy đặc tính cản thủy lực có ảnh hưởng đáng kể đến độ êm dịu của máy trong điều kiện kích thích từ mặt đường với biên độ lớn và tần số thấp. Trong những năm gần đây, vấn đề nâng cao độ êm dịu của máy xây dựng đã được nghiên cứu theo nhiều hướng tiếp cận khác nhau, bao gồm phân tích thực nghiệm, mô hình hóa dao động và tối ưu thiết kế hệ thống cách ly dao động cabin. Một số nghiên cứu đã tập trung vào việc đề xuất các phương pháp tối ưu thiết kế đệm cách dao động cabin dựa trên kết quả phân tích dao động và thí nghiệm thực tế [7], [8]. Song song với đó, các chiến lược điều khiển bán chủ động cũng được phát triển nhằm cải thiện hiệu quả giảm dao động. Các nghiên cứu của Le Van Quynh và cs. [9] và Hoang Anh Tan và cs.[10] cho thấy việc điều chỉnh đặc tính cản của hệ thống cách ly dao động cabin bằng các bộ điều khiển thông minh có thể nâng cao đáng kể độ êm dịu của máy trong điều kiện làm việc khắc nghiệt. Mặc dù nhiều nghiên cứu đã chứng minh hiệu quả của các giải pháp tối ưu thiết kế và điều khiển bán chủ động đối với hệ thống cách ly dao động cabin, việc nâng cao độ êm dịu của máy xúc lật trong điều kiện kích thích mặt đường có biên độ lớn và tần số thấp vẫn là một vấn đề cần tiếp tục được nghiên cứu. Trên cơ sở đó, bài báo này tập trung xây dựng mô hình dao động không gian của máy xúc lật nhằm phân tích đặc tính động lực học và xác định bộ thông số thiết kế tối ưu cho hệ thống đệm cách dao động cabin. Quá trình tối ưu được thực hiện bằng thuật toán di truyền trong bài toán tối ưu đa mục tiêu, trong đó các hàm mục tiêu được thiết lập theo tiêu chuẩn đánh giá độ êm dịu ISO 2631 (1997).

2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH DAO ĐỘNG TOÀN MÁY

2.1. Mô hình dao động toàn máy

Trên cơ sở phân tích đặc tính động lực học, mô hình dao động không gian của hệ

thống đệm cách ly dao động cao su truyền thống được thiết lập để làm cơ sở cho việc phân tích và tối ưu các thông số thiết kế, được thể hiện trong Hình 1.



Hình 1. Một mô hình dao động không gian với 7 bậc tự của máy xúc lật

Các ký hiệu được sử dụng trong Hình 1 được quy ước như sau. Các khối lượng của hệ gồm khối lượng ghế người điều khiển, cabin và thân xe, tương ứng ký hiệu là m_s , m_c , m_b ; Mô men quán tính của cabin và thân xe theo các phương x và y được ký hiệu lần lượt là I_{cx} , I_{bx} và I_{cy} , I_{by} ; Đặc tính đàn hồi và giảm chấn của hệ thống treo ghế, hệ thống đệm cách dao động cabin và lớp xe được biểu diễn thông qua các tham số độ cứng k_s , k_{ci} , k_{ti} và các hệ số cản tương ứng c_s , c_{ci} , c_{ti} ; Đối với các xy lanh điều khiển nghiêng và nâng gầu xúc ở hai bên, độ cứng và hệ số cản tương đương được ký hiệu là $k_{g1,2}$, $k_{p1,2}$ và $c_{g1,2}$, $c_{p1,2}$ với các lực tác dụng tương ứng là $F_{g1,2}$ và $F_{p1,2}$; Các chuyển vị theo phương thẳng đứng của ghế người điều khiển, cabin và thân xe lần lượt được ký hiệu là z_s , z_c , z_b ; Các góc lắc dọc và lắc ngang của cabin và thân xe được mô tả thông qua các biến ϕ_c , ϕ_b và θ_c , θ_b ; Kích thích mặt đường tại các bánh xe được ký hiệu là q_i ; trong khi các khoảng cách hình học trong mô hình được ký hiệu bởi l_i , với $i=1-4$ và $j=1-10$.

Chuyển động của các vật trong cơ hệ có thể được mô tả thông qua nhiều cách tiếp cận khác nhau, bao gồm phương trình Lagrange loại II, nguyên lý D'Alembert,

nguyên lý Jourdain hoặc phương pháp Newton-Euler. Trong nghiên cứu này, nhằm thuận lợi cho việc mô phỏng số và xác định các thông số thiết kế bằng máy tính, nguyên lý D'Alembert được áp dụng trên cơ sở lý thuyết hệ nhiều vật để xây dựng hệ phương trình vi phân mô tả dao động của xe. Trên cơ sở mô hình trình bày ở Hình 1, các phương trình chuyển động của hệ được thiết lập như sau.

Phương trình chuyển động của ghế người điều khiển

$$m_s \ddot{z}_s = -F_s \quad (1)$$

Các phương trình chuyển động của cabin

$$m_c \ddot{z}_c = F_s - \sum_{i=1}^4 F_{ci} \quad (2)$$

$$I_{cy} \ddot{\phi}_c = \sum_{i=1}^2 F_{ci} l_{i6} - \sum_{i=3}^4 F_{ci} l_{i7} - F_s l_{i8} \quad (3)$$

$$I_{cx} \ddot{\theta}_c = (F_{c2} + F_{c4}) l_{12} - (F_{c1} + F_{c2}) l_{11} - F_s l_{13} \quad (4)$$

Các phương trình chuyển động của thân xe

$$m_b \ddot{z}_b = \sum_{i=1}^4 F_{ci} - \sum_{i=1}^4 F_{ti} + \sum_{i=1}^2 F_{gi} \sin \alpha + \sum_{i=1}^2 F_{pi} \sin \beta \quad (5)$$

$$I_{by} \ddot{\phi}_b = \sum_{i=1}^2 F_{ti} l_{i2} - \sum_{i=3}^4 F_{ti} l_{i1} - \sum_{i=1}^2 F_{ci} l_{i5} - \sum_{i=3}^4 F_{ci} (l_{i5} - l_{i6}) - \sum_{i=1}^2 F_{gi} l_{i4} \sin \alpha - \sum_{i=1}^2 F_{pi} l_{i3} \sin \beta \quad (6)$$

$$I_{bx} \ddot{\theta}_b = (F_{t2} + F_{t4}) l_{10} - (F_{t1} + F_{t3}) l_{i9} + (F_{c1} + F_{c3}) l_{12} - (F_{c2} + F_{c4}) l_{11} - (F_{g2} \sin \alpha + F_{p2} \sin \beta) l_{15} + (F_{g1} \sin \alpha + F_{p1} \sin \beta) l_{14} \quad (7)$$

Mấp mô mặt nền đường: Mấp mô mặt đường có thể được biểu diễn theo nhiều cách khác nhau, từ các hàm xác định đến các mô hình ngẫu nhiên. Trong nghiên cứu này, đặc tính mấp mô của mặt đường được mô tả theo tiêu chuẩn ISO 8608:2016 [11]. Theo tiêu chuẩn này, mấp mô mặt đường được đặc trưng bởi mật độ phổ công suất $S_q(n_0)$, được xác định thông qua quan hệ thực nghiệm sau [12]:

$$S_q(n) = S_q(n_0) \left(\frac{n}{n_0} \right)^{-\omega} \quad (8)$$

trong đó n là tần số sóng của mặt đường (chu kỳ/m), n_0 là tần số chuẩn (chu kỳ/m), $S_q(n)$ biểu thị mật độ phổ chiều cao của mấp mô mặt đường ($m^3/\text{chu kỳ}$), còn $S_q(n_0)$ giá trị mật độ phổ tại tần số chuẩn. Tham số ω là số mũ đặc trưng của phổ mấp mô, thường nhận giá trị bằng 2.

Quá trình mấp mô mặt đường ngẫu nhiên được giả thiết tuân theo phân bố Gauss và được tổng hợp bằng phương pháp Fourier ngẫu nhiên ngược, với biểu thức:

$$q(t) = \sum_{i=1}^N \sqrt{\frac{2\pi n_0^2 S_q(n_0)}{f_{mid,i}^2}} \Delta f \cos(2\pi f_{mid,i} t + \phi_i) \quad (9)$$

trong đó $f_{mid,i} = f_l + \frac{2i-1}{2} \Delta f$ với $i=1,2,3 \dots n$ và ϕ_i là các pha ngẫu nhiên phân bố đều trong khoảng từ 0 đến 2π .

3. THIẾT KẾ TỐI ƯU DI TRUYỀN

Có nhiều thuật toán tối ưu được sử dụng để tìm thông số thiết kế tối ưu của hệ thống đệm cách ly dao động cabin, như thuật toán di truyền (GA) [13], [14], [16], [17], cùng với các biến thể tối ưu đa mục tiêu của nó như NSGA-II (Nondominated Sorting Genetic Algorithm II) [15], thuật toán tối ưu bầy đàn (PSO), cùng với các biến thể tối ưu đa mục tiêu của nó như thuật toán MOPSO, (Multi-objective Particle Swarm Optimization, Algorithm) [18], thậm chí thuật toán bầy cá nhân tạo cải tiến IAFSA (Improved Artificial Fish Swarm Algorithm) [19]. Trong bài báo này, mô hình dao động của máy xúc lật được xem mô hình tuyến tính, do vậy GA được lựa chọn sử dụng để tìm các thông số thiết kế tối ưu. Thuật toán di truyền (GA) bắt nguồn từ các nguyên lý tiến hóa sinh học tự nhiên, được xây dựng dựa trên thuyết tiến hóa của Darwin (1809–1882), bao gồm chọn lọc, lai ghép và đột biến. Trong thuật toán di truyền, việc tạo ra nghiệm mới được thực hiện thông qua các toán tử nhất định. Các toán tử này vận hành theo cách mà chi phí tạo ra nghiệm mới (con) thấp hơn chi phí của các nghiệm hiện có (cha/mẹ). Một thuật

toán GA đơn giản gồm ba toán tử cơ bản: tái tạo, lai ghép, và đột biến. Thuật toán di truyền được xây dựng dựa trên các toán tử cơ bản như tái tạo, lai ghép và đột biến. Quá trình tối ưu bắt đầu bằng việc khởi tạo ngẫu nhiên một quần thể ban đầu, sau đó các thể hệ mới được hình thành một cách tuần tự. Ở mỗi thế hệ, các cá thể được đánh giá thông qua giá trị hàm thích nghi, đồng thời các giá trị này được chuẩn hóa để phục vụ cho quá trình so sánh và lựa chọn. Trên cơ sở đó, các cá thể có mức thích nghi cao hơn sẽ có xác suất được chọn làm cha mẹ lớn hơn. Cơ chế chọn lọc tinh hoa được áp dụng nhằm bảo toàn một số cá thể tốt nhất và chuyển trực tiếp sang thế hệ tiếp theo. Các cá thể mới được tạo ra thông qua các toán tử lai ghép và đột biến, và quần thể hiện tại sẽ được thay thế bởi quần thể con tương ứng. Quá trình lặp tiếp tục cho đến khi điều kiện dừng đã xác định được thỏa mãn.

Trong nghiên cứu này, ba đại lượng phản ánh mức độ dao động được sử dụng làm hàm mục tiêu, bao gồm gia tốc bình phương trung bình theo phương thẳng đứng của ghế người điều khiển (a_{ws}), cùng với gia tốc bình phương trung bình của góc lắc dọc và lắc ngang của cabin ($a_{w\phi}$ và $a_{w\theta}$). Các hàm mục tiêu này được xác định theo công thức (10).

Theo tiêu chuẩn ISO 2631-1:1997 [20], gia tốc bình phương trung bình được tính toán dựa trên biểu thức.

$$a_w = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a(t) dt \right]^2 \quad (10)$$

trong đó: a_w là giá trị gia tốc bình phương trung bình, m/s^2 ; $a(t)$ l biểu thị gia tốc theo thời gian, m/s^2 và T là thời gian khảo sát, s.

Hàm mục tiêu

$$F(X) = w_1 a_{ws} + w_2 a_{w\phi} + w_3 a_{w\theta} \rightarrow \min \quad (11)$$

trong đó, $X=[k_{ci}, c_{ci}]$ là vector biến thiết kế; a_{ws} , $a_{w\phi}$ và $a_{w\theta}$ là các hàm mục tiêu, w_1, w_2, w_3 là hệ số trọng số ($w_1=0.4, w_2=0.3, w_3=0.3$).

Ràng buộc biến thiết kế:

$$s.t. \begin{cases} \Delta z_c = (z_{ci} - z_{bi}) \leq \Delta z_{cmax} \\ 0.7k_{ci0} \leq k_{ci} \leq 1.3k_{ci0} \\ 1.2c_{ci0} \leq c_{ci} \leq 2.4c_{ci0} \end{cases} \quad (12)$$

trong điều kiện ràng buộc trên, Δz_c biểu thị chuyển vị tương đối giữa cabin và khung máy, trong khi Δz_{cmax} là giá trị chuyển vị tương đối lớn nhất cho phép giữa cabin và khung, với $\Delta z_{cmax} = 0.005m$. Các tham số k_{ci0} và c_{ci0} tương ứng là độ cứng và hệ số cản của đệm cách ly dao động cao su cabin máy xúc lật nguyên bản.

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

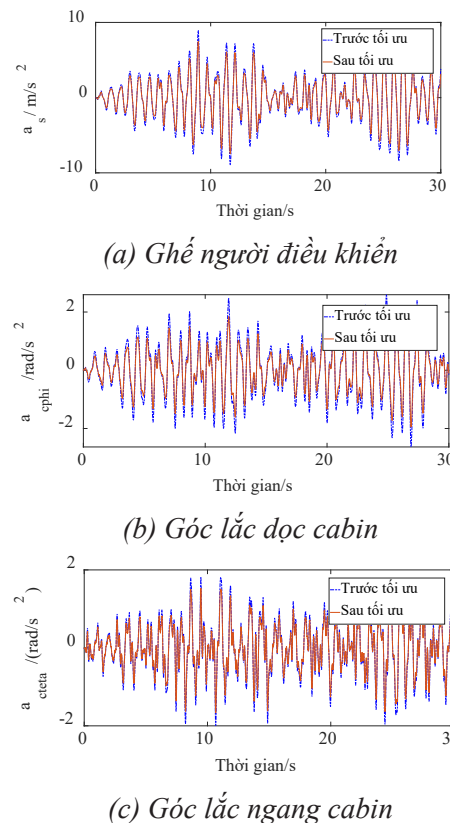
Để tìm ra một bộ thông số thiết kế tối ưu của hệ thống đệm cách ly dao động cabin máy xúc lật, Matlab/simulink được sử dụng để mô phỏng và tìm ra với bộ thông số tham khảo [21] khi máy di chuyển trên mặt nền công trường xấu ISO cấp E, vận tốc $v=5km/h$ và trạng thái đầy tải. Thuật toán di truyền (GA) được triển khai với kích thước quần thể là 100 cá thể, xác suất lai ghép bằng 0,1 và xác suất đột biến bằng 0,7. Chương trình GA được lập trình trong môi trường Matlab và liên kết với mô hình động lực học trong Simulink, trong đó giá trị hàm mục tiêu của toàn bộ quần thể được tính toán để cập nhật các thông số thiết kế qua từng thế hệ. Các bộ thông số tối ưu thu được từ GA được so sánh với bộ thông số thiết kế ban đầu của hệ thống đệm cách dao động cabin, và các kết quả tương ứng được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Thông số thiết kế của đệm cách ly dao động cabin trước và sau tối ưu.

Thông số	Nguyên bản	Tối ưu	Tăng/giảm (%)
k_{ci} (N/m)	19335	16500	-14,66
c_{ci} (Ns/m)	1350	1560	+15,56

Để phân tích mức độ cải thiện độ êm dịu của hệ thống đệm cách ly dao động cabin sau quá trình tối ưu, các gia tốc phản ứng trong miền thời gian theo phương thẳng đứng của ghế người điều khiển (a_s) cũng như các gia tốc góc lắc dọc và lắc ngang của cabin (a_{cphi} và a_{cteta}) được thể hiện trong

Hình 2. Kết quả cho thấy, khi áp dụng bộ thông số thiết kế tối ưu, biên độ gia tốc đặc trưng của các đáp ứng đều có xu hướng giảm so với cấu hình ban đầu của hệ thống đệm cách ly cabin, trong điều kiện máy làm việc trên mặt đường xấu cấp ISO E, với vận tốc 5 km/h và trạng thái đầy tải. Những kết quả này khẳng định hiệu quả của quá trình tối ưu trong việc cải thiện đáng kể độ êm dịu chuyển động của máy xúc lật trong điều kiện kích thích ngẫu nhiên biên độ lớn và tần số kính thích thấp.



Hình 2. Gia tốc phản ứng theo thời gian trước và sau tối ưu

Dựa trên kết quả thể hiện trong Hình 2, các giá trị gia tốc đặc trưng a_{ws} , a_{wcphi} và a_{wcteta} được xác định và tổng hợp trong Bảng 2. Kết quả phân tích cho thấy, khi áp dụng bộ thông số thiết kế sau tối ưu, các đại lượng a_{ws} , a_{wcphi} và a_{wcteta} lần lượt giảm 13,57%, 24,02% và 12,56% so với cấu hình ban đầu của máy trong điều kiện làm việc trên mặt đường xấu cấp ISO E, với vận tốc 5 km/h và trạng thái đầy tải. Sự suy

giảm rõ rệt của các chỉ tiêu dao động này cho thấy bộ thông số tối ưu của hệ thống đệm cách ly cabin đã góp phần cải thiện đáng kể mức độ êm dịu vận hành của máy xúc lật. Tuy nhiên, trong thiết kế đệm cao su truyền thống, việc đạt được hệ số giảm chấn lớn vẫn gặp nhiều thách thức cho nhà thiết kế do đặc tính nội ma sát của vật liệu cao su thấp.

Bảng 2. Các giá trị a_{ws} , a_{wcphi} và a_{wcteta} trước và sau khi tối ưu

Giá trị	a_{ws} (m/s ²)	a_{wcphi} (rad/s ²)	a_{wcteta} (rad/s ²)
Trước tối ưu	2,6651	0,6979	0,5767
Sau tối ưu	2,3035	0,5302	0,5049
Giảm %	13,57	24,02	12,56

5. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, một mô hình dao động không gian với 07 bậc tự do của máy xúc lật đã được xây dựng nhằm mô phỏng đáp ứng động lực học của hệ thống dưới tác động kích thích ngẫu nhiên từ mặt đường xấu, đặc trưng bởi biên độ mấp mô lớn và miền tần số kích thích thấp. Trên cơ sở mô hình đề xuất, thuật toán di truyền được áp dụng kết hợp với cách tiếp cận tối ưu đa mục tiêu có trọng số để xác định bộ thông số thiết kế tối ưu cho hệ thống đệm cách ly dao động cabin. Các hàm mục tiêu được lựa chọn dựa trên gia tốc bình phương trung bình theo phương thẳng đứng của ghế người điều khiển, cùng với các gia tốc góc lắc dọc và lắc ngang của cabin. Kết quả phân tích cho thấy, khi áp dụng bộ thông số thiết kế thu được từ quá trình tối ưu, các chỉ tiêu đáp ứng a_{ws} , a_{wcphi} và a_{wcteta} lần lượt giảm 13,57%, 24,02% và 12,56% so với thông số của hệ thống nguyên bản dưới điều kiện máy hoạt động trên mặt đường xấu cấp ISO E, với vận tốc 5 km/h và trạng thái đầy tải, điều đó đã cải thiện đáng kể độ êm dịu của máy xúc lật. Kết quả nghiên cứu này góp phần tạo cơ sở lý thuyết cho việc cải tiến hệ thống đệm cách dao động cabin máy xây dựng, đồng thời kết quả là cơ sở cho các nghiên cứu tiếp theo nhằm nâng cao độ êm dịu hoạt động của máy xây dựng. Các kết quả đạt được không chỉ góp phần làm rõ cơ sở lý thuyết cho việc phân tích và tối ưu hệ

thống đệm cách ly dao động cabin trên máy xây dựng, mà còn cung cấp nền tảng tham khảo hữu ích cho các nghiên cứu tiếp theo hướng tới cải thiện chất lượng làm việc và sự thoải mái của người điều khiển trong điều kiện khai thác thực tế khắc nghiệt.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Hostens, I. and Ramon, H. (2003). Descriptive analysis of combine cabin vibrations and their effect on the human body, *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 266, No. 3, pp. 453–464. [https://doi.org/10.1016/S0022-460X\(03\)00578-9](https://doi.org/10.1016/S0022-460X(03)00578-9).
- [2] Le Van Quynh, Zhang Jianrun, Liu Xiaobo, Wang Yuan, Thoan, P.V. (2013). Ride comfort evaluation of vibratory roller under different soil ground, *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, Vol. 29, No. 9, pp. 39–47.
- [3] Le Van Quynh and Vi Thi Phuong Thao (2019). Study on Influence of Design Parameters of Drum's Metal Rubber Isolation System of Tandem Vibratory Roller on Ride Comfort, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, Vol. 6, No. 6, pp. 1347–1354.
- [4] Vu Ngoc Quynh, Canh Chi Huan, Nguyen Tien Han (2025). Effect of Design Parameters of Cab's Isolation System on a Wheel Loader Ride Comfort, *World Journal of Research and Review (WJRR)*, Vol. 20, No. 5, pp. 01–04. DOI: <https://doi.org/10.31871/WJRR.20.5.3>.
- [5] Huan, C.C., Ha, D.V., Vu, L.A., Thoan, T.V., Quynh, L.V. (2023). Ride comfort evaluation for a wheel loader with cab's hydraulic isolation system. *Lecture Notes in Networks and Systems*, Vol. 602, Springer, Cham. doi:10.1007/978-3-031-22200-9_89.
- [6] C. C. Huan, B. V. Cuong, L. V. Quynh, N. T. Han, and N. T. T. Hang, (2025). Enhanced ride comfort of wheel loaders using liquid-filled cab vibration isolation: a full-vehicle nonlinear dynamic model. *Vibroengineering Procedia*, Vol. 59, pp. 139–146, Sep. 2025, <https://doi.org/10.21595/vp.2025.25237>.

[7] Quynh, L. V., Zhang, J. R., Jiao, G. W., Liu, X. B., & Wang, Y. (2011). Vibration Analysis and Optimal Design for Cab's Isolation System of Vibratory Roller. *Advanced Materials Research*, 199–200, 936–940. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.199-200.936>.

[8] L. V. Quynh, Z. Jianrun, N. V. Liem, B. V. Cuong, L. X. Long, and D. T. Phuong, (2020). Experimental modal analysis and optimal design of cab's isolation system for a single drum vibratory roller. *Vibroengineering PROCEDIA*, Vol. 31, pp. 52–56, May 2020, <https://doi.org/10.21595/vp.2020.21325>.

[9] Le Van Quynh, Dang Viet Ha, Bui Van Cuong, Le Anh Vu, and Tran Van Thoan (2021). Improvement of Ride Comfort Quality for an Earth-Moving Machinery with Semi-Active Cab Isolation System, *E3S Web of Conferences*, Vol. 304, pp. 02012. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202130402012>.

[10] Hoang Anh Tan, Bui Van Cuong, Nguyen Dinh Tan, Nguyen Minh Chau, and Canh Chi Huan, (2023). Improvement of ride quality for a wheel loader with semi-active cab isolation system via fuzzy self tuning of PID controller. *JMST*, no. FEE, pp. 197–203, <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.FEE.2023.197-203>.

[11] ISO 8068 (2016). Mechanical Vibration-Road Surface Profiles-Reporting of Measured Data. International Organization for Standardization, 2016.

[12] Dodds C J, Robson J D., (1973). The description of road surface roughness. *Journal of Sound and Vibration*, 1973, Vol.31(2), p. 175–183.

[13] N. V. Tuan, et al. (2020). Optimal design parameters of air suspension systems for semi-trailer truck. Part 1: modeling and algorithm. *Vibroengineering PROCEDIA*, Vol. 33, pp. 72–77, (2020), <https://doi.org/10.21595/vp.2020.21562>.

[14] N. V. Tuan, et al., (2020). Optimal design parameters of air suspension systems for semi-trailer truck. Part 2: results and discussion. *Vibroengineering PROCEDIA*, Vol. 33, pp. 147–152, (2020), <https://doi.org/10.21595/vp.2020.21563>.

[15] Le, V.Q., Nguyen, K.T., 2018. Optimal Design Parameters of Cab's Isolation System for Vibratory Roller Using a Multi-Objective Genetic Algorithm. *AMM* 875, 105–112. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.875.105>.

[16] L. V. Quynh, V. T. P. Thao, and T. T. Phong, (2020). Optimal design parameters of drum's isolation system for a double-drum vibratory roller. *Vibroengineering PROCEDIA*, Vol. 31, pp. 74–79, <https://doi.org/10.21595/vp.2020.21445>.

[17] Van Quynh, L., Duy, N.T., Van Liem, N., Van Cuong, B., Long, L.X. (2021). Optimal Design of Cab's Isolation System for a Single-Drum Vibratory Roller. *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 178. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-64719-3_68.

[18] Yao Yuru, Bi Fengrong, Jing Yabing, Qi Bin, Tian Sailong, Tian Congfeng (2017). Co-simulation of Cab Mounting System Optimization using MOPSO Algorithm. *Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering*, 2017, 36(4): 610-615. DOI: 10.13433/j.cnki.1003-8728.2017.0419.

[19] Nguyen Tien Dung, Bui Van Cuong, Le Van Quynh, & Hoang Anh Tan, (2024). Optimization of electric vehicle suspension parameters using improved artificial fish swarm algorithm. *Journal of Military Science and Technology*, (FEE), 191–197. <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.FEE.2024.191-197>.

[20] ISO 2631-1 (1997). Mechanical vibration and shock-Evaluation of human exposure to whole-body vibration, Part I: General requirements, The International Organization for Standardization.

[21]. Canh Chí Huân (2020). Nghiên cứu nâng cao hiệu quả đệm cách dao động cabin máy xây dựng. Đề tài cấp cơ sở, Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp, Đại học Thái Nguyên.

NGHIÊN CỨU LỰA CHỌN ROBOT HÀN HỒ QUANG SỬ DỤNG PHƯƠNG PHÁP TRỌNG SỐ ENTROPY

Tạ Việt Cường¹, Nguyễn Đức Minh², Trương Công Giang¹, Trần Ngọc Tiến^{2*}

¹ Khoa Cơ khí, Trường Cao đẳng Kỹ thuật - Công nghệ Vĩnh Phúc

² Trường Cơ khí - Ô tô, Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: tientn@hau.edu.vn

TÓM TẮT

Sự phát triển của công nghệ sản xuất tiên tiến khiến robot công nghiệp trở thành một yếu tố không thể thiếu trong nhiều quy trình, đặc biệt trong các nhiệm vụ phức tạp như hàn hồ quang. Việc lựa chọn robot hàn hồ quang phù hợp có ý nghĩa quan trọng, bởi nó ảnh hưởng trực tiếp đến năng suất, chất lượng mối hàn và chi phí vận hành. Tuy nhiên, bài toán lựa chọn này thường gặp khó khăn do sự tồn tại đồng thời của nhiều tiêu chí xung đột. Trước bối cảnh đó, nghiên cứu này đề xuất một khung đánh giá hệ thống dựa trên các phương pháp ra quyết định đa tiêu chí (MCDM) để hỗ trợ quá trình lựa chọn robot hàn hồ quang. Ba phương pháp MCDM gồm TOPSIS, CODAS và VIKOR được áp dụng để xếp hạng các phương án robot, trong khi trọng số tiêu chí được xác định khách quan bằng kỹ thuật entropy. Kết quả cho thấy ba phương pháp đều cung cấp khả năng phân biệt tốt giữa các lựa chọn, đồng thời mang lại tính nhất quán và độ tin cậy cao trong đánh giá. So sánh kết quả xếp hạng giúp làm rõ những khác biệt trong cơ chế tính toán của từng phương pháp, đồng thời khẳng định tính hữu ích của MCDM trong việc lựa chọn robot hàn hồ quang phù hợp cho từng bối cảnh sản xuất. Nghiên cứu đóng góp về việc ưu tiên lựa chọn robot thông qua phân tích bằng kỹ thuật MCDM, cung cấp cơ sở tham khảo cho các nhà quản lý và kỹ sư trong sử dụng robot công nghiệp.

Từ khóa: Robot công nghiệp, robot hàn hồ quang, phương pháp MCDM, trọng số entropy.

ABSTRACT

The development of advanced manufacturing technologies has made industrial robots an indispensable element in many processes, especially in complex tasks such as arc welding. Selecting an appropriate arc welding robot is of great importance, as it directly affects productivity, weld quality, and operating costs. However, this selection problem is often challenging due to the simultaneous presence of multiple conflicting criteria. In this context, this study proposes a systematic evaluation framework based on multi-criteria decision-making (MCDM) methods to support the selection of arc welding robots. Three MCDM methods (TOPSIS, CODAS, and VIKOR) are applied to rank the robot alternatives, while the criteria weights are objectively determined using the entropy technique. The results show that all three methods provide good discriminatory power among the alternatives and deliver high consistency and reliability in the evaluation. A comparison of the ranking results helps clarify the differences in the computational mechanisms of each method and confirms the usefulness of MCDM in selecting suitable arc welding robots for specific manufacturing contexts. This study contributes to prioritizing robot selection through MCDM-based analysis, providing a valuable reference for managers and engineers in the application of industrial robots.

Keywords: Industrial robots, arc welding robots, MCDM methods, entropy weighting.

Ngày nhận bài: 16/11/2025; **Ngày sửa bài:** 18/12/2025; **Ngày duyệt đăng:** 20/12/2025

1. MỞ ĐẦU

Hàn là một trong những ứng dụng quan trọng nhất trong các ngành sản xuất và robot hàn công nghiệp đang trở thành lựa chọn phổ biến trong bối cảnh tự động hóa ngày càng phát triển. Trong đó, robot hàn hồ quang được sử dụng rộng rãi trong chế tạo kết cấu thép và sản xuất công nghiệp nhờ khả năng thực hiện các đường hàn dài, liên tục và có độ chính xác cao [1]. Các robot này có thể được lập trình để xử lý những cấu trúc hình học phức tạp, giúp cải thiện đáng kể năng suất, độ ổn định và chất lượng mối hàn so với phương pháp truyền thống. Hơn nữa, sự đa dạng về chủng loại, thông số kỹ thuật và hiệu năng của các loại robot hàn trên thị trường hiện nay đặt ra nhu cầu cấp thiết về một phương pháp đánh giá và lựa chọn mang tính hệ thống. Điều này đặc biệt quan trọng trong bối cảnh các nhà sản xuất phải cân nhắc đồng thời nhiều tiêu chí như độ chính xác, tốc độ hàn, khả năng lắp lại, chi phí đầu tư, tuổi thọ thiết bị và tính tương thích với dây chuyền sản xuất [2]. Vì vậy, việc áp dụng các phương pháp ra quyết định đa tiêu chí (MCDM) trở thành giải pháp phù hợp để hỗ trợ lựa chọn robot hàn hồ quang tối ưu cho từng điều kiện sản xuất cụ thể [3]. Các kỹ thuật MCDM khác nhau đã được áp dụng để giải quyết sự phức tạp trong việc lựa chọn đối tượng [4]. Phương pháp phân tích thứ bậc (AHP) [5], PROMETHEE [6] và VIKOR [7] là những phương pháp đã được sử dụng, đặc biệt trong các nhiệm vụ nhất và đặt với nhiều phương án và tiêu chí được đánh giá [8]. Những phương pháp này giúp người ra quyết định so sánh một cách hệ thống các robot khác nhau dựa trên cấu trúc thứ bậc của các tiêu chí và tiêu chí con, cho phép quá trình lựa chọn trở nên thông tin hơn và hợp lý hơn. Các phương pháp dựa trên khoảng cách như

kỹ thuật xếp hạng ưu tiên theo tương đồng với giải pháp lý tưởng (TOPSIS) [9] và đánh giá dựa trên khoảng cách kết hợp (CODAS) [10] cũng đã được phát triển để chọn robot công nghiệp tốt nhất bằng cách xem xét các khía cạnh như hiệu suất, chất lượng và chi phí. Những phương pháp này xếp hạng các lựa chọn dựa trên khoảng cách của chúng đến giải pháp lý tưởng, cung cấp một chỉ số rõ ràng để so sánh. Mặc dù có nhiều nghiên cứu về việc lựa chọn robot sử dụng các kỹ thuật MCDM, việc áp dụng các phương pháp này trong việc lựa chọn robot cụ thể cho hàn hồ quang còn ít được khám phá. Hàn hồ quang đặt ra những thách thức và yêu cầu như độ chính xác, khả năng thích ứng, độ lặp lại,... Các phương pháp ra quyết định phù hợp với những nhu cầu cụ thể này là cần thiết để xác định robot phù hợp nhất cho các ứng dụng hàn hồ quang. Bên cạnh đó, phương pháp trọng số entropy là một công cụ có giá trị khác trong quá trình ra quyết định, vì nó tính toán trọng số tiêu chí dựa trên tính biến thiên của dữ liệu mà không dựa vào đầu vào chủ quan từ người ra quyết định [11]. Cách tiếp cận trọng số khách quan này đảm bảo tầm quan trọng của mỗi tiêu chí được xác định bởi thông tin vốn có trong dữ liệu, giảm thiểu các thiên vị tiềm ẩn.

Trong nghiên cứu này, các phương pháp TOPSIS, CODAS, VIKOR kết hợp với phương pháp trọng số entropy được sử dụng để chọn robot hàn hồ quang phù hợp nhất. Cách tiếp cận này cho phép đánh giá toàn diện các robot có sẵn bằng cách xem xét nhiều tiêu chí hiệu suất và xác định một cách khách quan trọng số của các tiêu chí. Bằng cách áp dụng phương pháp này, các nhà quyết định có thể đưa ra lựa chọn thông tin robot phù hợp với yêu cầu cụ thể của quá trình hàn hồ quang, cuối cùng dẫn đến cải thiện chất lượng hàn và hiệu quả hoạt động.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

2.1. Phương pháp trọng số entropy

Các bước của phương pháp được mô tả như sau:

Bước 1: Chuẩn hoá ma trận quyết định. Giả sử ma trận quyết định có phương án và tiêu chí:

$$X = [x_{ij}]_{m \times n} \quad (1)$$

Ta chuẩn hóa dữ liệu bằng cách sau. Nếu tiêu chí là dạng lợi ích (càng lớn càng tốt):

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (2)$$

Nếu tiêu chí là dạng chi phí (càng nhỏ càng tốt):

$$p_{ij} = \frac{1/x_{ij}}{\sum_{i=1}^m (1/x_{ij})} \quad (3)$$

Kết quả là ma trận phân phối xác suất cho từng tiêu chí.

Bước 2: Tính giá trị entropy của từng tiêu chí. Ta có công thức entropy:

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln(p_{ij}) \quad (4)$$

Trong đó:

$$k = \frac{1}{\ln(m)} \quad (5)$$

Lưu ý: nếu quy ước. Khi càng lớn thì dữ liệu càng đồng đều dẫn đến thông tin thấp. Ngược lại, khi càng nhỏ thì độ phân tán lớn dẫn đến thông tin cao.

Bước 3: Tính mức độ đa dạng thông tin.

$$d_j = 1 - E_j \quad (6)$$

Bước 4: Tính trọng số entropy.

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad (7)$$

Trọng số w_j thỏa mãn: $0 \leq w_j \leq 1, \sum w_j = 1$

2.2. Phương pháp TOPSIS

Các bước của phương pháp TOPSIS được thực hiện như sau:

Bước 1: Xây dựng ma trận quyết định.

$$X = [x_{ij}]_{m \times n} \quad (8)$$

Trong đó: là số phương án, là số tiêu

chí, là giá trị phương án theo tiêu chí.

Bước 2: Chuẩn hóa ma trận quyết định.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (9)$$

Bước 3: Tạo ma trận quyết định có trọng số. Giả sử trọng số tiêu chí được cho bởi:

$$w = (w_1, w_2, \dots, w_n), \sum w_j = 1 \quad (10)$$

Khi đó ma trận trọng số:

$$v_{ij} = w_j \cdot r_{ij} \quad (11)$$

Bước 4: Xác định nghiệm lý tưởng dương (PIS) và âm (NIS). Nếu tiêu chí là dạng lợi ích:

$$A^+ = \{\max(v_{ij}) \mid j = 1..n\} \quad (12)$$

$$A^- = \{\min(v_{ij}) \mid j = 1..n\} \quad (13)$$

Nếu tiêu chí là dạng chi phí:

$$A^+ = \{\min(v_{ij}) \mid j = 1..n\} \quad (14)$$

$$A^- = \{\max(v_{ij}) \mid j = 1..n\} \quad (15)$$

Bước 5: Tính khoảng cách Euclid đến nghiệm lý tưởng. Khoảng cách tới PIS và NIS lần lượt được cho bởi:

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - A_j^+)^2} \quad (16)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - A_j^-)^2} \quad (17)$$

Bước 6: Tính chỉ số tương đối (độ gần gũi). Độ gần gũi của phương án được cho bởi:

$$C_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \quad (18)$$

Trong đó: $C_i \in [0,1]$, C_i , C_i càng gần 1 thì phương án đó càng tốt.

Bước 7: Xếp hạng các phương án. Sắp xếp các phương án theo thứ tự giảm dần của C_i . Phương án có giá trị C_i lớn nhất là phương án tốt nhất theo TOPSIS.

2.3. Phương pháp CODAS

Phương pháp CODAS được thực hiện theo các bước dưới đây.

Bước 1: Xây dựng ma trận quyết định. Thực hiện tương tự như phương pháp

TOPSIS.

Bước 2: Chuẩn hóa ma trận quyết định:

$$r_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij}}{\max(x_{ij})}, & \text{tiêu chí lợi ích} \\ \frac{x_{ij}}{\min(x_{ij})}, & \text{tiêu chí chi phí} \end{cases} \quad (19)$$

Bước 3: Tạo ma trận có trọng số. Ma trận trọng số được cho bởi:

$$v_{ij} = w_j \cdot r_{ij} \quad (20)$$

Bước 4: Xác định giải pháp lý tưởng. Đối với tiêu chí lợi ích:

$$A_j^* = \begin{cases} \max(v_{ij}), & \text{tiêu chí lợi ích} \\ \min(v_{ij}), & \text{tiêu chí chi phí} \end{cases} \quad (21)$$

Bước 5: Tính khoảng cách Euclidean theo (22) và Taxicab theo (23).

$$E_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n (A_j^* - v_{ij})^2} \quad (22)$$

$$T_i = \sum_{j=1}^n |A_j^* - v_{ij}| \quad (23)$$

Bước 6: Ma trận đánh giá tương quan giữa các phương án:

$$H_{ij} = (E_i - E_j) + \tau \cdot \text{sgn}(T_i - T_j) \quad (24)$$

Trong đó: $\text{sgn}(x) = \begin{cases} 1 & x > \tau \\ 0 & |x| \leq \tau \\ -1 & x < -\tau \end{cases}$ và lấy giá trị $\tau = 0.02$

Bước 7: Tính điểm tổng hợp CODAS

$$H_i = \sum_{j=1}^m H_{ij} \quad (25)$$

Phương án có lớn nhất là phương án tốt nhất.

2.4. Phương pháp VIKOR

Các bước của VIKOR được thực hiện như sau:

Bước 1: Xác định giá trị lý tưởng và phản lý tưởng. Trong trường hợp lý tưởng (tốt nhất) ta tính:

$$f_j^* = \begin{cases} \max(x_{ij}), & \text{tiêu chí lợi ích} \\ \min(x_{ij}), & \text{tiêu chí chi phí} \end{cases} \quad (26)$$

Phản lý tưởng (tồi nhất):

$$f_j^- = \begin{cases} \min(x_{ij}), & \text{tiêu chí lợi ích} \\ \max(x_{ij}), & \text{tiêu chí chi phí} \end{cases} \quad (27)$$

Bước 2: Tính khoảng cách tổng hợp (S) theo công thức (28) và khoảng cách lớn

nhất theo tiêu chí (R) theo công thức (29):

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j \cdot \frac{f_j^* - x_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \quad (28)$$

$$R_i = \max_j [w_j \cdot \frac{f_j^* - x_{ij}}{f_j^* - f_j^-}] \quad (29)$$

Bước 3: Tính chỉ số tổng hợp Q

$$Q_i = v \cdot \frac{S_i - S^*}{S^- - S^*} + (1 - v) \cdot \frac{R_i - R^*}{R^- - R^*} \quad (30)$$

Trong đó: $S^* = \min(S_i)$, $S^- = \max(S_i)$, $R^* = \min(R_i)$, $R^- = \max(R_i)$, $v \in [0,1]$ (thường chọn $v = 0,5$). v mô tả mức độ ưu tiên lợi ích nhóm còn $(1 - v)$ mô tả mức độ ưu tiên lợi ích cá nhân.

Bước 4: Xếp hạng các lựa chọn. Phương án tốt nhất là phương án có Q_i nhỏ nhất.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Trong việc ra quyết định, tiêu chí lợi ích thường đề cập đến giá trị cao hơn, ví dụ: khả năng tải của robot (bài toán tối đa hóa nghĩa là giá trị càng cao càng tốt). Ngược lại, tiêu chí chi phí (không có lợi) áp dụng cho giá trị thấp hơn, chẳng hạn như mức tiêu thụ điện của robot (bài toán tối thiểu hóa nghĩa là giá trị càng thấp càng có lợi). Trong nghiên cứu này, năm tiêu chí quan trọng được xem xét để lựa chọn robot hàn hồ quang được mô tả như sau:

- Trọng lượng cơ học của robot tính bằng kg (C1): Đây là trọng lượng vật lý của robot, người mua thường ưa chuộng robot có trọng lượng nhẹ hơn, do đó đây là tiêu chí không có lợi.

- Độ lặp lại tính bằng mm (C2): Đây là khả năng của robot trong việc thực hiện lặp lại một nhiệm vụ nhiều lần. Độ lặp lại thường được ưu tiên cao hơn, vì vậy đây là tiêu chí có lợi.

- Khả năng tải của robot tính bằng kg (C3): Đây là tổng trọng lượng tối đa mà robot có thể nâng trong một lần. Thường được ưu tiên cao hơn, nên đây là tiêu chí có lợi.

Bảng 1. Danh sách các tiêu chí lựa chọn

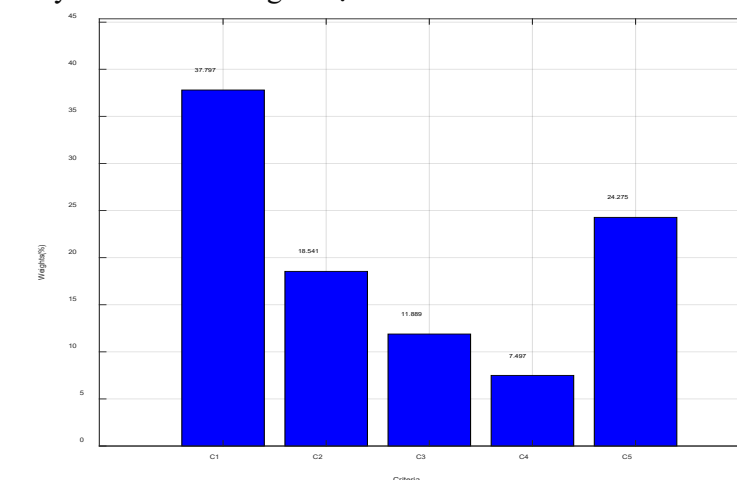
TT	Tiêu chí	Đơn vị	Ký hiệu
1	Trọng lượng cơ học	kg	C1
2	Độ lặp lại	(+/-) mm	C2
3	Khả năng tải	kg	C3
4	Tầm với tối đa	mm	C4
5	Mức tiêu thụ điện năng trung bình	kw	C5

- Tầm với tối đa của robot tính bằng mm (C4): Đây là trung bình của khoảng cách tối đa theo chiều dọc và ngang mà robot có thể vươn cánh tay để thực hiện công việc. Thường mong muốn cao hơn; do đó, đây là tiêu chí có lợi.

Bảng 2. Ma trận quyết định

Robot	C1	C2	C3	C4	C5
Robot-1	145	0.02	12	1441	1
Robot-2	27	0.018	7	911	0.5
Robot-3	170	0.05	4	1500	0.6
Robot-4	272	0.04	20	1650	3.4
Robot-5	250	0.02	25	2409	2
Robot-6	230	0.05	10	1925	5.6
Robot-7	501	0.15	6	4368	2.5
Robot-8	215	0.08	8	1801	5.05

- Mức tiêu thụ điện năng trung bình của robot tính bằng kilowatt (C5): Đây là số đơn vị điện năng trung bình mà robot tiêu thụ. Thông thường mong muốn robot có mức tiêu thụ điện năng thấp hơn, nên đây là tiêu chí không có lợi.



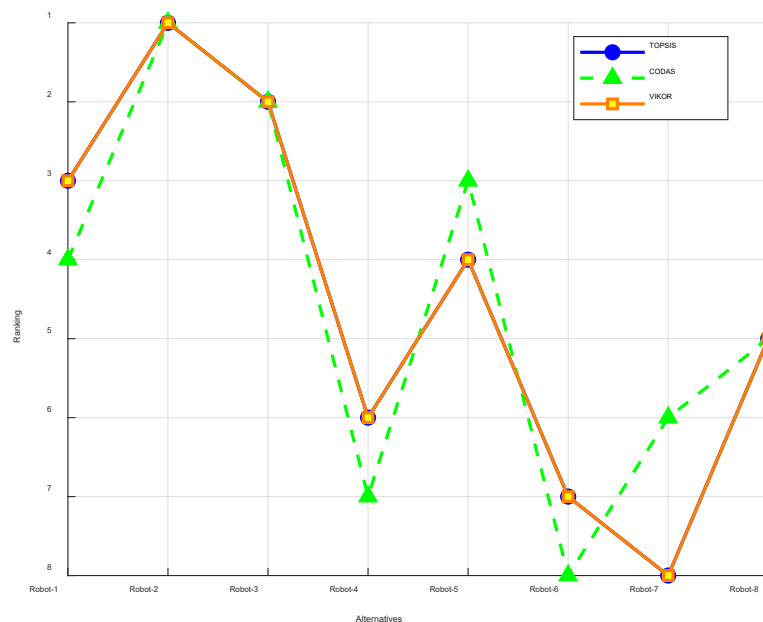
Hình 1. Trọng số entropy của các tiêu chí

Các tiêu chí khác nhau để lựa chọn robot hàn hồ quang được liệt kê trong Bảng 1. Thông tin về tám robot hàn hồ quang với năm tiêu chí C1, C2, C3, C4 và C5 được tổng hợp trong Bảng 2, thể hiện ma trận quyết định. Thông qua tính toán entropy ta được trọng số giữa các tiêu chí lựa chọn robot được thể hiện trong Hình 1.

Ta thấy rằng tiêu chí C2 có trọng số cao nhất là 37.797% và tiêu chí C5 có trọng số cao thứ hai là 24.275%. Trong trường hợp này, các tiêu chí có lợi bao gồm C2, C3, C4, trong khi các tiêu chí không có lợi là C1 và C5. Hình 2 là kết quả so sánh thứ hạng giữa các robot được thực hiện thông qua 3 phương pháp TOPSIS, CODAS và VIKOR. Kết quả cho thấy Robot-2 đạt vị trí hàng đầu trong cả 3 phương pháp, Robot-3 cũng được cả 3 phương pháp đánh giá là lựa chọn thứ hai. Trong khi đó, Robot-6 và Robot-7 được đánh giá là phương án tệ nhất. Thứ hạng đạt được bằng 3 phương pháp TOPSIS, CODAS, VIKOR có tính nhất quán. Đặc biệt mức độ tương đồng cao giữa TOPSIS và VIKOR, khi hai đường biểu diễn gần như trùng khớp trên toàn bộ các phương án. Điều này phản ánh bản chất tương tự của hai phương pháp trong việc đánh giá khoảng cách đến nghiệm lý tưởng,

từ đó dẫn đến kết quả xếp hạng ổn định. Ngược lại, phương pháp CODAS có sự khác biệt tại Robot-1, Robot-4, Robot-5, Robot-6 và Robot-7. Sự sai lệch này bắt nguồn từ cơ chế kết hợp khoảng cách Euclidean và Taxicab, khiến CODAS nhạy hơn với độ chênh lệch tuyệt đối giữa các tiêu chí. Mặc dù tồn tại

khác biệt cục bộ, cả ba phương pháp đều thống nhất xếp Robot-2 là phương án tốt nhất và Robot-7 là phương án kém nhất, cho thấy hai phương án này thể hiện ưu, nhược điểm rất rõ rệt so với phần còn lại của tập dữ liệu.



Hình 2. Kết quả xếp hạng các lựa chọn

Các phương án thuộc nhóm trung bình (hạng 2 đến 6) có sự dao động không lớn giữa các phương pháp, phản ánh sự khác biệt trong mức độ đóng góp của các tiêu chí đối với từng mô hình MCDM. Sự đồng thuận về phương án tốt nhất và kém nhất giữa ba phương pháp khẳng định độ tin cậy cao của kết quả ra quyết định thu được.

3. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã đề xuất và triển khai một khung ra quyết định đa tiêu chí nhằm lựa chọn robot hàn hồ quang công nghiệp phù hợp thông qua việc kết hợp phương pháp trọng số entropy với ba kỹ thuật MCDM gồm TOPSIS, CODAS và VIKOR. Trọng số của các tiêu chí được xác định khách quan dựa trên mức độ biến thiên của dữ liệu, hạn chế ảnh hưởng của yếu tố chủ quan. Kết quả phân tích

từ ba phương pháp MCDM cho thấy sự nhất quán cao trong quá trình xếp hạng, đặc biệt khi cả TOPSIS và VIKOR đều cho kết quả trùng khớp trên hầu hết các phương án. Đáng chú ý, cả ba phương pháp đều thống nhất lựa chọn Robot-2 là phương án tối ưu, trong khi Robot-7 được xác định là phương án kém hiệu quả nhất. Điều này chứng tỏ mức độ ổn định và độ tin cậy của mô hình đánh giá được xây dựng. Nhóm phương án có thứ hạng trung bình thể hiện sự dao động nhỏ giữa các phương pháp cho thấy việc lựa chọn cuối cùng trong nhóm này cần cân nhắc thêm các yếu tố thực tiễn

như chi phí đầu tư, khả năng tích hợp hệ thống và điều kiện vận hành cụ thể tại nơi sản xuất. Trong tương lai, mô hình có thể được phát triển theo hướng tích hợp trọng số chủ quan từ chuyên gia, sử dụng dữ liệu mờ để xử lý tính không chắc chắn hoặc mở rộng tập tiêu chí nhằm phù hợp hơn với các yêu cầu của các ngành sản xuất khác nhau.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Biber, A., Sharma, R., & Reisgen, U. (2024). Robotic welding system for adaptive process control in gas metal arc welding. *Welding in the World*, 68(9), 2311-2320.
- [2] Rout, A., Mahanta, G. B., Champatiray, C., Deepak, B. B. V. L., & Biswal, B. B. (2025). Optimal setting of arc welding robot and laser sensor variables for getting maximal weld

quality, positional accuracy, and smooth trajectory. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 1-16.

[3] Singh, D. P., Avikal, S., Singh, H., Monga, S., & Sharma, A. (2024, January). A MCDM-Based Approach for the Selection of Industrial Robots for Arc Welding Process. In *International Conference on Futuristic Advancements in Materials, Manufacturing and Thermal Sciences* (pp. 389-399). Singapore: Springer Nature Singapore.

[4] Tran, N. T., Trinh, V. L., & Chung, C. K. (2024). An integrated approach of fuzzy AHP-TOPSIS for Multi-Criteria Decision-Making in industrial robot selection. *Processes*, 12(8), 1723.

[5] Tešić, D., Božanić, D., Milić, A., & Puška, A. (2025). Selection of Ice Crossing Point location using hybrid MCDM model Fuzzy AHP-EWAA-Fuzzy CoCoSo. *Spectrum of Mechanical Engineering and Operational Research*, 2(1), 280-295.

[6] Luu, V.H., Tran, N.T. (2025). A Study on MCDM for Evaluating Li-Ion Batteries in Electric Vehicles: A Comparative. In *Proceedings of the 4th Annual International Conference on Material, Machines, and Methods for Sustainable Development (MMMS2024)*. MMMS 2024. Lecture Notes in Mechanical Engineering.

Springer, Cham.

[7] Gul, R. (2025). An extension of VIKOR approach for MCDM using bipolar fuzzy preference δ -covering based bipolar fuzzy rough set model. *Spectrum of Operational Research*, 2(1), 72-91.

[8] Khan, N. A., Kumar, A., & Rao, N. (2024, September). Hybrid Decision-Making Program for Optimal Robot Selection Using MCDM. In *2024 International Conference on Artificial Intelligence and Emerging Technology (Global AI Summit)* (pp. 173-177). IEEE.

[9] Deepa, D., Suresh, S., Saravanan, K. G., & Naik, R. D. (2024). A Topsis Method for Industrial Service Robot Selection with Different Weight Approach. In *Robotics and Automation in Healthcare* (pp. 169-185). Apple Academic Press.

[10] Goswami, S. S., Tapankumar, T., Naik, N. C. K., Gowrishankar, J., Bhosle, N., Singh, A., ... & Santhosh, A. J. (2025). Multi-model MCDM framework for sustainable renewable energy selection in India: integrating CRITIC-EDAS-CODAS-CoCoSo. *Discover Sustainability*, 6(1), 500.

[11] Erbey, A., Fidan, Ü., & Gündüz, C. (2025). A Robust Hybrid Weighting Scheme Based on IQRBOW and Entropy for MCDM: Stability and Advantage Criteria in the VIKOR Framework. *Entropy*, 27(8), 867.

CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG TỚI TÂM LÝ HÀNH VI CỦA NHÀ ĐẦU TƯ TRÊN THỊ TRƯỜNG CHỨNG KHOÁN VIỆT NAM

Lê Thanh Huyền

Khoa Tài chính – Ngân hàng, Trường Đại học Thương Mại
Email: lethanhhuyen@tmu.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến hành vi nhà đầu tư trên thị trường chứng khoán Việt Nam. Việc khai thác dữ liệu từ 558 doanh nghiệp niêm yết trong giai đoạn 2019-2023 đã chỉ ra rằng hiệu quả tài chính và tăng trưởng kinh tế có tác động tích cực đến hành vi nhà đầu tư, trong khi lạm phát có tác động tiêu cực. Như vậy, cải thiện hiệu quả tài chính là một phương thức hiệu quả để tăng niềm tin của các nhà đầu tư. Bên cạnh đó, công ty niêm yết nên tận dụng giai đoạn kinh tế phát triển để thu hút vốn. Tuy nhiên, khi xuất hiện hiện tượng lạm phát, doanh nghiệp cần có các giải pháp ổn định tâm lý cho các nhà đầu tư để tránh tình trạng bán tháo cổ phiếu.

Từ khóa: Thị trường chứng khoán; Cổ phiếu; Hành vi nhà đầu tư.

ABSTRACT

This study analyzes the factors influencing investor behavior in the Vietnamese stock market. Using data from 558 listed companies during the period 2019–2023, the results indicate that financial performance and economic growth have a positive impact on investor behavior, while inflation has a negative effect. Therefore, improving financial performance is an effective way to enhance investor confidence. In addition, listed companies should take advantage of periods of economic growth to attract capital. However, when inflation occurs, firms need to implement measures to stabilize investor sentiment in order to prevent stock sell-offs.

Keywords: Stock market; Stocks; Investor behavior.

Ngày nhận bài: 06/11/2025; **Ngày sửa bài:** 15/12/2025; **Ngày duyệt đăng:** 20/12/2025

1. MỞ ĐẦU

Tài chính truyền thống lập luận rằng giá thị trường của chứng khoán sẽ cân bằng với giá trị của chúng, cơ chế tự điều chỉnh giá sẽ lập tức xuất hiện để giúp cho giá chứng khoán quay về đúng trạng thái cân bằng nếu như có hiện tượng chênh lệch giá chứng khoán. Thực tế, thị trường chứng khoán thế giới có không ít các sự kiện gây nên ảnh hưởng mạnh đến giá chứng khoán như Great Crast năm 1929, quả bom Tronics năm 1960, sự kiện Go-Go Years ở những năm cuối thập niên 60 của thế kỷ 20, ngày thứ hai tháng

mười đen tối năm 1987... Trong những lần biến động đó, chúng ta nhận thấy giá chứng khoán trên thị trường đã bị làm thay đổi một cách bất ngờ, kéo dài và làm phá vỡ những lập luận giải thích của quan điểm tài chính truyền thống.

Theo tài chính hành vi, có hai nguyên nhân chính của hiện tượng chênh lệch giá mà tài chính truyền thống không giải thích được, đó là: (1) giới hạn kinh doanh chênh lệch giá và (2) tâm lý hành vi của nhà đầu tư [10]. Cũng theo hai tác giả, tâm lý nhà đầu tư được thể hiện dưới dạng các sai lệch trong

nhận thức của nhà đầu tư khi họ hình thành hành vi hay sở thích của mình. Từ lâu, tâm lý nhà đầu tư được coi là yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến biến động giá chứng khoán trên thị trường. Tâm lý hành vi của nhà đầu tư khi tham gia giao dịch được giải thích thông qua lý thuyết về tài chính hành vi, đây là một bộ phận của kinh tế học, nghiên cứu hành vi con người và tác động của nó đến thị trường tài chính. Thực tế, tài chính hành vi không tập trung nghiên cứu các giá trị nền tảng của chứng khoán mà chỉ xem xét dựa trên khía cạnh tâm lý của nhà đầu tư, cố gắng giải thích vì sao họ lại mua, bán chứng khoán. Bên cạnh đó, tài chính hành vi còn giải thích những biểu hiện mang tính tâm lý của nhà đầu tư trên thị trường tài chính, sử dụng những kiến thức về tâm lý học, xã hội học và tài chính học để giải thích những hành vi bất thường của nhà đầu tư [4]. Vấn đề này đã thu hút sự quan tâm và tìm hiểu của nhiều nhà khoa học, như Solt và Statman (1988); Fisher và Statman (2002); Edmans và các cộng sự, (2007);) Baker và Stein (2004), Baker và Wurgler (2006), Liao và các cộng sự (2011) Lee và Swaminathan (2000). Mỗi nghiên cứu được thực hiện lại đã đưa lại các kết quả khác nhau. Do sự phức tạp trong tâm lý học hành vi, các lý thuyết về hành vi nhà đầu tư, cũng như mối quan hệ của nó với giá cổ phiếu vẫn còn nhiều vấn đề gây tranh cãi. Chính vì vậy, đây là một trong những chủ đề đang được nhiều nhà khoa học quan tâm và nỗ lực thực hiện các nghiên cứu nhằm tìm ra đáp án tốt nhất cho mối quan hệ này.

Thị trường chứng khoán Việt Nam trong những năm gần đây đã chứng kiến sự phát triển mạnh mẽ, trở thành một kênh đầu tư quan trọng thu hút sự tham gia của hàng triệu nhà đầu tư cá nhân và tổ chức. Tuy nhiên, hành vi của nhà đầu tư trên thị trường này thường chịu ảnh hưởng từ nhiều yếu tố, bao gồm cả các yếu tố tài chính như hiệu quả tài chính (ROE), đòn bẩy tài chính, và các yếu tố vĩ mô như lạm phát và tăng trưởng GDP. Bên cạnh đó, các thiên kiến tâm lý từ góc nhìn tài chính hành

vi, như hiệu ứng đám đông, ác cảm thua lỗ, hay sự tự tin thái quá, cũng đóng vai trò quan trọng trong việc định hình các quyết định đầu tư, đôi khi dẫn đến những hành vi không hoàn toàn lý trí.

Trong bối cảnh thị trường chứng khoán Việt Nam còn non trẻ và chịu nhiều biến động, việc nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến tâm lý hành vi nhà đầu tư không chỉ giúp giải mã nguyên nhân đằng sau các quyết định tài chính mà còn cung cấp cơ sở để đề xuất các giải pháp cải thiện chất lượng đầu tư và ổn định thị trường. Nghiên cứu này tập trung phân tích tác động của hiệu quả tài chính (ROE) và đòn bẩy tài chính đến hành vi nhà đầu tư, đo lường thông qua giá trị thị trường của cổ phiếu, đồng thời xem xét vai trò của các yếu tố kiểm soát như lạm phát và tăng trưởng GDP. Bằng cách kết hợp góc nhìn tài chính hành vi và các phương pháp kinh tế lượng, nghiên cứu kỳ vọng mang lại cái nhìn toàn diện về cách các yếu tố này tương tác và ảnh hưởng đến hành vi nhà đầu tư.

2. NỘI DUNG

2.1. Tổng quan nghiên cứu

2.1.1. Trong nước

Nguyễn Văn Phương (2020) thực hiện phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến quyết định đầu tư chứng khoán của nhà đầu tư cá nhân tại TP. Hồ Chí Minh, sử dụng mô hình hồi quy với các biến độc lập như tiềm năng tăng trưởng, khả năng sinh lời, tâm lý thị trường, thông tin tài chính, và yếu tố vĩ mô (lạm phát, GDP). Kết quả cho thấy tất cả các yếu tố này đều có tác động đáng kể, trong đó tâm lý thị trường và yếu tố vĩ mô như lạm phát có ảnh hưởng mạnh đến hành vi đầu tư. Nghiên cứu đề xuất nâng cao giáo dục tài chính để cải thiện quyết định đầu tư.

Phạm Thị Diệu Phước (2023) nghiên cứu các yếu tố vĩ mô tác động đến thị trường chứng khoán Việt Nam, sử dụng Mô hình hồi quy Vector Bayesian. Kết quả cho thấy lạm phát, tỷ giá hối đoái, và tăng trưởng GDP có mối quan hệ nhân quả với chỉ số VN-Index.

Lạm phát cao làm giảm niềm tin nhà đầu tư, trong khi tăng trưởng GDP ổn định thúc đẩy giá trị thị trường cổ phiếu. Nghiên cứu nhấn mạnh tầm quan trọng của việc kiểm soát lạm phát để ổn định thị trường.

Nguyễn Phú Hà (2022) xem xét các yếu tố ảnh hưởng đến giá cổ phiếu của các ngân hàng thương mại cổ phần niêm yết trên sàn HOSE, bao gồm ROE, quy mô ngân hàng, và lạm phát. Kết quả hồi quy cho thấy ROE có tác động thuận chiều mạnh đến giá cổ phiếu, trong khi lạm phát có ảnh hưởng tiêu cực. Nghiên cứu đề xuất rằng các ngân hàng cần cải thiện hiệu quả tài chính (ROE) để thu hút nhà đầu tư và tăng giá trị thị trường.

Tạ Đình Hòa (2023) nghiên cứu về hiệu quả sử dụng vốn của các doanh nghiệp niêm yết, sử dụng hồi quy để phân tích các yếu tố như đánh giá của nhà đầu tư, chính sách pháp lý, và rủi ro kinh doanh. Kết quả cho thấy ROE và đánh giá của nhà đầu tư có tác động thuận chiều đến giá trị thị trường cổ phiếu, trong khi đòn bẩy tài chính cao làm tăng rủi ro và có thể ảnh hưởng tiêu cực đến hành vi đầu tư. Nghiên cứu đề xuất cải thiện minh bạch thông tin để tăng niềm tin nhà đầu tư.

Trần Thị Thu Trang, Lê Thanh Huyền, Đỗ Thị Diên (2025) đi sâu vào nghiên cứu sự tương tác lẫn nhau giữa tâm lý nhà đầu tư và Tobin's Q giữa các công ty niêm yết trên thị trường chứng khoán Việt Nam, nhằm mục đích khám phá những kết nối phức tạp ảnh hưởng đến quá trình định giá. Nghiên cứu sử dụng mô hình Độ trễ phân phối tự hồi quy (ARDL), một phương pháp kinh tế lượng mạnh mẽ, để phân tích một tập dữ liệu mở rộng bao gồm 410 công ty từ Sở giao dịch chứng khoán Thành phố Hồ Chí Minh (HOSE) và Sở giao dịch chứng khoán Hà Nội (HNX) trong giai đoạn từ năm 2015 đến năm 2023. Những phát hiện này cho thấy một động lực đa chiều: trong ngắn hạn, tâm lý nhà đầu tư ảnh hưởng tiêu cực đến Tobin's Q, cho thấy sự lạc quan quá mức của thị trường thường dẫn

đến định giá quá cao, sau đó là những điều chỉnh cần thiết. Ngược lại, về dài hạn, tâm lý ảnh hưởng tích cực đến Tobin's Q, cho thấy rằng nhận thức tích cực bền vững có thể nâng cao đáng kể định giá công ty. Hơn nữa, Tobin's Q thể hiện ảnh hưởng tích cực trong ngắn hạn đến tâm lý, phản ánh cách định giá được cải thiện củng cố niềm tin của nhà đầu tư, mặc dù ảnh hưởng này sẽ mờ dần trong dài hạn. Kiểm định nhân quả Granger củng cố mối quan hệ tương hỗ ngắn hạn giữa các biến này. Những hiểu biết sâu sắc này nhấn mạnh ảnh hưởng quan trọng của tâm lý đến định giá doanh nghiệp tại thị trường mới nổi Việt Nam, cung cấp hướng dẫn giá trị cho các nhà đầu tư và nhà hoạch định chính sách để quản lý và giảm thiểu rủi ro tốt hơn liên quan đến biến động thị trường do tâm lý chi phối.

2.2.2. Ngoài nước

Al-Tamimi (2006) đã đánh giá về sự ảnh hưởng của các yếu tố bên trong doanh nghiệp đến tâm lý của nhà đầu tư UAE trên thị trường tài chính Dubai và thị trường chứng khoán Abu Dhabi. Kết quả thực nghiệm đã chỉ ra rằng các yếu tố liên quan đến doanh nghiệp như thu nhập kỳ vọng, tốc độ lớn mạnh, khả năng thanh khoản của chứng khoán, hiệu suất đầu tư trong quá khứ có ảnh hưởng nhiều nhất tới nhà đầu tư.

Ratanapakorn (2007) phân tích mối quan hệ giữa các yếu tố vĩ mô và giá cổ phiếu tại thị trường Mỹ. Kết quả hồi quy cho thấy lạm phát và tỷ giá hối đoái có tác động thuận chiều đến giá cổ phiếu, trong khi cung tiền có tác động ngược chiều. Nghiên cứu chỉ ra rằng nhà đầu tư thường phản ứng mạnh với các tín hiệu vĩ mô, đặc biệt là lạm phát, ảnh hưởng đến quyết định mua bán cổ phiếu.

Al-Shubiri (2010) nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến giá cổ phiếu của các ngân hàng niêm yết tại Jordan (2005–2008). Kết quả cho thấy tăng trưởng GDP có mối quan hệ thuận chiều với giá cổ phiếu, trong khi đòn bẩy tài chính cao làm tăng rủi ro và ảnh hưởng tiêu cực đến hành vi nhà đầu tư. ROE

được xác định là yếu tố quan trọng thúc đẩy niềm tin và hành vi mua cổ phiếu.

Lee và Hsieh (2013) phân tích tác động của các yếu tố vĩ mô và vi mô đến khả năng sinh lời của ngân hàng tại các nước châu Á. Kết quả cho thấy GDP tăng trưởng thúc đẩy hành vi đầu tư vào cổ phiếu ngân hàng, trong khi đòn bẩy tài chính cao làm giảm lợi nhuận (ROE) và niềm tin nhà đầu tư. Nghiên cứu nhấn mạnh rằng các ngân hàng cần duy trì đòn bẩy tài chính hợp lý để thu hút nhà đầu tư.

Shiller (2015) nghiên cứu về tâm lý đám đông và hành vi nhà đầu tư trên thị trường chứng khoán toàn cầu. Tác giả chỉ ra rằng các thiên kiến hành vi như hiệu ứng đám đông và FOMO ảnh hưởng mạnh đến giá trị thị trường cổ phiếu, đặc biệt trong các giai đoạn thị trường biến động. Các yếu tố vĩ mô như lạm phát cũng được xác định là nhân tố quan trọng định hình hành vi nhà đầu tư. Nghiên cứu đề xuất sử dụng các “cú hích” để giảm thiểu tác động của thiên kiến hành vi.

Tác giả Khawaja & Alharbi (2021) đã thực hiện cuộc điều tra các nhà đầu tư trên thị trường chứng Saudi. Dựa trên lý thuyết về tài chính hành vi và các kết quả nghiên cứu thực nghiệm, các tác giả chỉ ra các yếu tố liên quan đến công ty, bao gồm: hiệu suất đầu tư trong quá khứ của cổ phiếu, thông tin trên báo cáo tài chính của doanh nghiệp, vị trí của doanh nghiệp trong ngành, danh tiếng của công ty và thu nhập dự kiến mà doanh nghiệp, có ảnh hưởng đáng kể đến tâm lý của nhà đầu tư. Bên cạnh đó, nghiên cứu cũng chứng minh được rằng nếu một công ty xây dựng được hình ảnh của mình tốt dựa trên nền tảng phát triển tài chính thì có thể cải thiện sức hút của mình. Trong khi đó, các nhà đầu tư trên thị trường chứng khoán Saudi lại không quan tâm nhiều đến trách nhiệm xã hội của doanh nghiệp.

Tóm lại, tổng quan tài liệu cho thấy hiện nay trên thế giới và ở Việt Nam đã có nhiều công trình khoa học được thực hiện nhằm xác định các yếu tố ảnh hưởng tới hành vi

nhà đầu tư trên thị trường chứng khoán, tuy nhiên, tồn tại khoảng trống nghiên cứu như sau: Đa số các nghiên cứu về hành vi nhà đầu tư, đặc biệt là các nghiên cứu trong nước, đang khai thác dữ liệu sơ cấp để xác định các yếu tố ảnh hưởng, trong khi đó, nhiều nhà khoa học đã chứng minh rằng dữ liệu thứ cấp cũng là một trong những nguồn quan trọng phản ánh tâm lý nhà đầu tư [9]. Để khai thác khoảng trống này, bài báo sẽ tập trung sử dụng các dữ liệu thứ cấp để đo lường tâm lý hành vi của những người tham gia trên thị trường, từ đó xác định các yếu tố ảnh hưởng phù hợp.

2.2. Mô hình nghiên cứu và phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Dữ liệu

Dữ liệu được sử dụng chủ yếu trong nghiên cứu là báo cáo tài chính (bao gồm báo cáo kết quả hoạt động kinh doanh, bảng cân đối và báo cáo lưu chuyển tiền tệ) của 558 doanh nghiệp được niêm yết trên thị trường chứng khoán Việt Nam trong giai đoạn 2019 – 2023. Dữ liệu được khai thác từ các nguồn tin cậy và minh bạch, bao gồm:

+) Báo cáo tài chính, báo cáo quản trị, báo cáo thường niên của các doanh nghiệp niêm yết.

+) Các nguồn dữ liệu vĩ mô và thị trường chứng khoán từ Tổng cục Thống kê, Bộ Tài chính, Kho bạc Nhà nước.

+) Dữ liệu về tâm lý nhà đầu tư từ các công ty chứng khoán, báo cáo phân tích thị trường.

- Tiêu chí lựa chọn doanh nghiệp: Các doanh nghiệp trong mẫu nghiên cứu phải đáp ứng các tiêu chí sau:

+) Niêm yết từ năm 2018 trở về trước, để đảm bảo có dữ liệu dài hạn phục vụ nghiên cứu.

+) Có dữ liệu tài chính đầy đủ từ 2019 - 2023, đảm bảo tính liên tục trong phân tích.

+) Không thuộc diện bị hủy niêm yết hoặc tạm ngừng giao dịch kéo dài, nhằm tránh sai lệch trong nghiên cứu do yếu tố kỹ thuật.

2.2.2. Mô hình nghiên cứu

Theo Baker và Wurgler, giá trị thị trường của cổ phiếu là một chỉ báo phù hợp để đo lường tâm lý hành vi của nhà đầu tư vì giá thị trường không chỉ phản ánh giá trị cơ bản mà còn chịu ảnh hưởng mạnh từ niềm tin, kỳ vọng và cảm xúc không hoàn toàn dựa trên thông tin thực tế. Khi tâm lý nhà đầu tư trở nên lạc quan (bi quan), nhu cầu đầu tư vào cổ phiếu tăng (giảm), đẩy giá thị trường lên cao (xuống thấp) so với giá trị nội tại. Do tồn tại giới hạn kinh doanh chênh lệch giá, các sai lệch này có thể kéo dài, khiến giá trị thị trường trở thành thước đo hữu ích của tâm lý nhà đầu tư trong ngắn và trung hạn. Trong nghiên cứu này, giá trị thị trường của cổ phiếu sẽ được sử dụng để đo lường tâm lý hành vi của nhà đầu tư [9].

Dựa trên các nghiên cứu tổng quan trước đây, ROE thường được ghi nhận tác động tích cực đến tâm lý nhà đầu tư, do chỉ tiêu này phản ánh hiệu quả sử dụng vốn và khả năng tạo lợi nhuận cho cổ đông. Đối với đòn bẩy tài chính, các nghiên cứu cho thấy tác động không đồng nhất: đòn bẩy ở mức hợp lý có thể cải thiện niềm tin của nhà đầu tư đối với doanh nghiệp thông qua lợi ích thuế và khả năng thúc đẩy tăng trưởng, trong khi đòn bẩy cao làm gia tăng rủi ro phá sản và biến động lợi nhuận, từ đó ảnh hưởng tiêu cực đến nhà đầu tư. Bên cạnh đó, tăng trưởng GDP được các nghiên cứu vĩ mô khẳng định tác động cùng chiều đến thị trường chứng khoán thông qua kênh mở rộng hoạt động sản xuất – kinh doanh và cải thiện kỳ vọng của nhà đầu tư. Ngược lại, lạm phát thường được ghi nhận tác động ngược chiều, do làm suy giảm giá trị thực của dòng tiền, gia tăng chi phí và tạo bất ổn cho thị trường tài chính.

Như vậy, mô hình được sử dụng trong bài nghiên cứu được viết dưới dạng phương trình như sau:

$$MV_{it} = \alpha_i + \beta_1 ROE_{it} + \beta_2 LEV_{it} + \beta_3 INF_{it} + \beta_4 Growth_{it} + \varepsilon_{it}$$

Trong đó: MV là tâm lý nhà đầu tư, ROE là tỉ suất lợi nhuận vốn chủ sở hữu, LEV là đòn bẩy tài chính, INF là lạm phát, Growth là tốc độ

tăng trưởng kinh tế.

2.2.3. Đo lường các biến

Bảng 1. Đo lường biến

Biến	Đo lường
Dependent variable (Y)	
Tâm lý hành vi nhà đầu tư (MV)	Giá trị thị trường của cổ phiếu
Independent variables (X)	
Tỷ suất lợi nhuận vốn chủ sở hữu (ROE)	Lợi nhuận sau thuế/vốn chủ sở hữu bình quân
Đòn bẩy tài chính (LEV)	Tổng nợ/Tổng tài sản
Lạm phát (INF)	CPI
Tốc độ tăng trưởng GDP (Growth)	$(GDP_t - GDP_{t-1})/GDP_{t-1}$

(Nguồn: Tác giả tự lập)

2.2.4. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu sử dụng phần mềm STATA 14 để thực hiện các phân tích định lượng. Tiếp cận được áp dụng bao gồm mô hình hồi quy với ba kỹ thuật ước lượng: bình phương nhỏ nhất kết hợp (pooled OLS), hiệu ứng cố định (FEM), và hiệu ứng ngẫu nhiên (REM). Để xác định mô hình tối ưu, kiểm định Chow được triển khai nhằm so sánh hiệu quả giữa OLS và các mô hình hiệu ứng, tiếp theo là kiểm định Hausman để phân biệt giữa FEM và REM. Các vấn đề tiềm ẩn như đa cộng tuyến được đánh giá qua chỉ số VIF, với ngưỡng loại bỏ là 10 hoặc cao hơn. Kiểm định Wald và Wooldridge được thực hiện để xác định khả năng tồn tại hiện tượng phương sai thay đổi và tự tương quan. Trong trường hợp hai hiện tượng này xuất hiện, phương pháp hồi quy sai số chuẩn hóa theo nhóm (Cluster) được áp dụng để nâng cao độ chính xác của kết quả ước lượng.

2.3. Kết quả nghiên cứu

2.3.1. Thống kê mô tả

Bảng 2. Kết quả thống kê mô tả

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
MV	2,790	24543.92	25930.06	0	254800
ROE	2,790	0.1134814	0.3047787	-4.026045	6.873007
LEV	2,790	0.4680138	0.2248255	0	1.29499
INF	2,790	2.851596	0.5339991	1.834716	3.25
Growth	2,790	5.171206	2.23842	2.561564	8.019792

(Nguồn: Dữ liệu phân tích bằng phần mềm STATA 14)

Bảng thống kê mô tả cho thấy, giá trị thị trường của cổ phiếu (MV), đại diện cho phản ứng và kỳ vọng của nhà đầu tư, đạt mức trung bình 24.543,92 triệu đồng nhưng có độ lệch chuẩn tương đối lớn (25.930,06 triệu đồng). Điều này cho thấy sự phân hóa đáng kể giữa các doanh nghiệp niêm yết – một đặc trưng quen thuộc của thị trường Việt Nam, nơi tồn tại đồng thời các công ty vốn hóa lớn và nhiều doanh nghiệp quy mô nhỏ. Biên độ dao động từ 0 đến 254.800 triệu đồng phản ánh rõ sự chênh lệch này.

Hiệu quả tài chính (ROE) có giá trị trung bình 11,35% nhưng biến động mạnh (độ lệch chuẩn 30,48%), với mức dao động từ -402,6% đến 687,3%. Các mức biến động cực đoan này cho thấy sự khác biệt lớn về năng lực sinh lời giữa các doanh nghiệp, điều thường thấy trong giai đoạn thị trường biến động mạnh hoặc khi các doanh nghiệp ghi nhận lỗ bất thường do suy giảm kinh tế, cạnh tranh gia tăng, hay thay đổi chính sách.

Đòn bẩy tài chính (LEV) trung bình đạt 46,8% (độ lệch chuẩn 22,48%), dao động từ 0 đến 129,5%. Điều này phản ánh mức độ sử dụng nợ khá đa dạng trong doanh nghiệp Việt Nam, đặc biệt trong bối cảnh thị trường tín dụng và lãi suất có nhiều thay đổi qua các năm. Mức đòn bẩy cao ở một số doanh nghiệp có thể liên quan đến chiến lược mở rộng nhanh hoặc áp lực tài chính, qua đó ảnh hưởng trực tiếp đến tâm lý và quyết định đầu tư.

Các biến kinh tế vĩ mô cũng thể hiện sự ổn định tương đối. Lạm phát (INF) có mức trung bình 2,85% với độ lệch chuẩn thấp (0,53%), dao động từ 1,83% đến 3,25%, cho thấy môi trường giá cả trong giai đoạn nghiên cứu khá ổn định – một yếu tố quan trọng góp phần củng cố niềm tin nhà đầu tư. Tăng trưởng GDP (Growth) trung bình 5,17% (độ lệch chuẩn 2,24%), dao động từ 2,56% đến 8,02%, phản ánh quá trình tăng trưởng tích cực nhưng vẫn chịu tác động từ biến động kinh tế toàn cầu, đặc biệt trong

các giai đoạn suy giảm hoặc phục hồi sau đại dịch.

2.3.2. Phân tích tương quan

Bảng 3. Ma trận tương quan

	MV	LEV	ROE	INF	Growth
MV	1.0000				
LEV	-0.0802	1.0000			
ROE	0.1690	0.0039	1.0000		
INF	-0.0925	-0.0073	-0.0316	1.0000	
Growth	0.0000	0.6981	0.0953	0.4185	1.0000
	-0.0025	-0.0082	0.0096		
	0.8935	0.6641	0.6107	0.0000	

(Nguồn: Dữ liệu phân tích bằng phần mềm STATA 14)

Bảng 3 cho thấy tâm lý hành vi của nhà đầu tư (MV) có mối tương quan cùng chiều, có ý nghĩa thống kê với ROE, cho thấy khi hiệu quả tài chính của doanh nghiệp được cải thiện, nhà đầu tư có xu hướng phản ứng tích cực thông qua việc nâng cao định giá thị trường. Điều này phản ánh vai trò của ROE trong việc củng cố niềm tin và kỳ vọng của nhà đầu tư đối với doanh nghiệp niêm yết.

Ngược lại, MV có tương quan ngược chiều, có ý nghĩa thống kê với LEV và INF, phản ánh rằng mức độ sử dụng đòn bẩy tài chính cao và áp lực lạm phát có thể làm giảm kỳ vọng của nhà đầu tư. Điều này phù hợp với lập luận rằng rủi ro tài chính và bất ổn vĩ mô là các yếu tố làm xói mòn lòng tin thị trường.

2.3.3. Kiểm định đa cộng tuyến

Bảng 4. VIF

Variable	VIF	1/VIF
INF	1.21	0.823531
Growth	1.21	0.824231
ROE	1	0.998312
LEV	1	0.999868
Mean VIF	1.11	

(Nguồn: Dữ liệu phân tích bằng phần mềm STATA 14)

Kết quả kiểm định cho thấy không tồn tại hiện tượng đa cộng tuyến, vì vậy tất cả

các biến đều phù hợp cho bước phân tích tiếp theo.

2.3.4. Phân tích kết quả hồi quy

Bảng 5. Kết quả hồi quy

		Robust				
MV	Coef.	Std. Err.	t	P>t	[95% Conf.	Interval]
LEV	1164.21	4408.959	0.26	0.792	-7496.146	9824.566
ROE	6092.053	2796.772	2.18	0.03	598.4568	11585.65
INF	-5229.62	389.3312	-13.43	0	-5994.368	-4464.871
Growth	485.4014	63.69679	7.62	0	360.2842	610.5187
_cons	35705.01	2439.74	14.63	0	30912.72	40497.3

(Nguồn: Dữ liệu phân tích bằng phần mềm STATA 14)

Kiểm định Hausman cho thấy, mô hình hồi quy với hiệu ứng cố định (FEM) phù hợp với mẫu nghiên cứu. Kiểm định Wald và Wooldridge cho thấy tồn tại hiện tượng phương sai thay đổi và hiện tượng tự tương quan, vì vậy ước lượng sai số chuẩn vững Cluster được sử dụng. Kết quả phân tích chỉ ra rằng hiệu quả tài chính (ROE) có tác động dương và có ý nghĩa thống kê đối với giá trị thị trường cổ phiếu (MV) ở mức ý nghĩa 5%. Điều này hàm ý rằng khi ROE tăng, giá trị thị trường của doanh nghiệp có xu hướng gia tăng, phù hợp với hành vi phổ biến của nhà đầu tư trên thị trường Việt Nam vốn thường ưu tiên các doanh nghiệp có khả năng sinh lời cao và ổn định.

Ngược lại, đòn bẩy tài chính (LEV) không cho thấy tác động có ý nghĩa thống kê. Kết quả này cho thấy mức độ sử dụng nợ không phải là yếu tố then chốt trong quyết định đầu tư của nhà đầu tư trong giai đoạn nghiên cứu, có thể do cấu trúc vốn của nhiều doanh nghiệp Việt Nam đã duy trì mức nợ tương đối ổn định hoặc nhà đầu tư chú trọng hơn vào các chỉ số hiệu quả hoạt động.

Lạm phát (INF) thể hiện tác động âm mạnh và có ý nghĩa thống kê ở mức ý nghĩa 1%, cho thấy lạm phát gia tăng làm suy giảm giá trị thị trường cổ phiếu. Điều này phù hợp với thực tiễn, khi biến động giá cả thường khiến nhà đầu tư lo ngại về chi phí

đầu vào, lãi suất và rủi ro kinh tế, từ đó làm giảm mức độ hấp dẫn của thị trường chứng khoán.

Tăng trưởng GDP (Growth) lại có tác động dương, có ý nghĩa thống kê ở mức ý nghĩa 1%, phản ánh mối quan hệ thuận chiều giữa tăng trưởng kinh tế và tâm lý đầu tư. Trong bối cảnh nền kinh tế cải thiện, doanh nghiệp có nhiều cơ hội mở rộng, lợi nhuận kỳ vọng tăng, và điều này góp phần khuyến khích dòng vốn đầu tư vào thị trường chứng khoán.

3. TRA OI VÀ KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã xác định các yếu tố tác động đến hành vi của nhà đầu tư trên thị trường chứng khoán Việt Nam thông qua biến đại diện là giá trị thị trường cổ phiếu (MV). Kết quả hồi quy cho thấy hiệu quả tài chính (ROE) và tăng trưởng GDP (Growth) có tác động tích cực và mang ý nghĩa thống kê, khẳng định rằng nhà đầu tư thường ưu tiên các doanh nghiệp có năng lực sinh lời tốt và phản ứng tích cực trước bối cảnh kinh tế vĩ mô thuận lợi. Ngược lại, lạm phát (INF) thể hiện tác động tiêu cực mạnh mẽ, phản ánh mức độ nhạy cảm của nhà đầu tư đối với những biến động giá cả và rủi ro vĩ mô. Đòn bẩy tài chính (LEV) không cho thấy tác động đáng kể, hàm ý rằng mức độ sử dụng nợ của doanh nghiệp hiện chưa phải là yếu tố được nhà đầu tư xem xét sâu trong bối cảnh thị trường.

Những kết quả này không chỉ củng cố vai trò của các yếu tố tài chính và vĩ mô trong việc định hình hành vi đầu tư mà còn gợi mở hướng nghiên cứu tiếp theo liên quan đến các thiên kiến hành vi như hiệu ứng bầy đàn hay ác cảm thua lỗ, vốn được chứng minh là có ảnh hưởng đáng kể trong các thị trường mới nổi. Từ góc độ thực tiễn, nghiên cứu đề xuất nhà đầu tư cần nâng cao kiến thức tài chính và khả năng đánh giá rủi ro vĩ mô, trong khi các cơ quan quản lý thị trường cần duy trì kiểm soát lạm phát và thúc đẩy tăng trưởng kinh tế nhằm ổn định

tâm lý nhà đầu tư, qua đó góp phần vào sự phát triển bền vững của thị trường chứng khoán Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng Việt

[1]. Phùng Việt Hà và các cộng sự (2022). “Các yếu tố ảnh hưởng đến quyết định đầu tư của nhà đầu tư cá nhân tại Hà Nội”. *Tạp chí Khoa học Tài chính*, 45(3), 123-135.

[2]. Nguyễn Văn Phương (2020). “Phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến quyết định đầu tư chứng khoán tại TP. Hồ Chí Minh”. *Tạp chí Kinh tế và Phát triển*, 28(2), 89-102.

[3]. Phạm Thị Diệu Phước (2023). “Tác động của các yếu tố vĩ mô đến thị trường chứng khoán Việt Nam”. *Tạp chí Chứng khoán Việt Nam*, 50(1), 56-67.

[4]. Nguyễn Phú Hà (2022). “Các yếu tố ảnh hưởng đến giá cổ phiếu ngân hàng trên sàn HOSE”. *Tạp chí Ngân hàng*, 39(4), 78-90.

[5]. Tạ Đình Hòa (2023). “Hiệu quả sử dụng vốn của doanh nghiệp niêm yết trên thị trường chứng khoán Việt Nam”. *Tạp chí Tài chính Doanh nghiệp*, 42(5), 101-115.

Tiếng Anh

[6]. Al-Shubiri, F. N. (2010). Analysis the determinants of market stock price movements: An empirical study of Jordanian commercial banks. *International Journal of Business and Management*, 5(10), 137-146.

[7]. Al-Tamimi, H. A. H. (2006). Factors influencing individual investor behavior: An empirical study of the UAE financial markets. *The Business Review, Cambridge*, 5(2), 225-233.

[8]. Baker, M., & Wurgler, J. (2006). Investor sentiment and the cross-section of stock returns. *The Journal of Finance*, 61(4), 1645-1680.

[9]. Baker, Malcolm & Stein, Jeremy C., 2004. Market liquidity as a sentiment indicator. *Journal of Financial Markets, Elsevier*, vol. 7(3), pages 271-299.

[10]. Barberis, N., & Thaler, R. (2003). A survey of behavioral finance. In G. M. Constantinides, M. Harris, & R. M. Stulz (Eds.), *Handbook of the economics of finance* (Vol. 1B, pp. 1053-1128). Elsevier.

[11]. CFA Institute. (2019). *Behavioral finance: The second generation*. CFA Institute Research Foundation. <https://www.cfainstitute.org/.../behavioral-finance-the-second-generation.pdf>

[12]. Edmans, A., García, D., & Norli, Ø. (2007). Sports sentiment and stock returns. *The Journal of Finance*, 62(4), 1967-1998.

[13]. Fisher, K. L., & Statman, M. (2003). Consumer confidence and stock returns. *Journal of Portfolio Management*, 30(1), 115-127.

[14]. Khawaja, M., & Alharbi, Z. (2021). Factors influencing investor behavior: An empirical study of Saudi Stock Market. *International Journal of Social Economics*, 48(4), 587-601.

[15]. Lee, C. M. C., & Swaminathan, B. (2000). Pricemomentum and trading volume. *The Journal of Finance*, 55(5), 2017-2069.

[16]. Liao, T.-L., Huang, C.-J., & Wu, C.-Y. (2011). Do fund managers herd to counter investor sentiment? *Journal of Business Research*, 64(2), 207-212.

[17]. Ratanapakorn, O., & Sharma, S. (2007). Dynamic analysis between the US stock returns and the macroeconomic variables. *Applied Financial Economics*, 17(5), 369-377.

[18]. Shiller, R. J. (2015). *Irrational exuberance* (3rd ed.). Princeton University Press.

[19]. Solt, M. E., & Statman, M. (1988). *How useful is the sentiment index?* Financial Analysts Journal, 44(5), 45-55.

PHÁT TRIỂN NỀN KINH TẾ TRÍ TUỆ TẠI VIỆT NAM: KINH NGHIỆM QUỐC TẾ VÀ KHUYẾN NGHỊ CHÍNH SÁCH

Ngô Văn Quang^{1*}, Hà Khánh Vân²

¹ Trường Kinh tế, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

² Trường Đại học Công nghệ Đông Á

*Email: quangnv@hau.edu.vn

TÓM TẮT

Trong bối cảnh toàn cầu chuyển dịch sang mô hình tăng trưởng dựa trên tri thức, công nghệ và đổi mới sáng tạo, phát triển nền kinh tế trí tuệ trở thành yêu cầu chiến lược đối với Việt Nam. Bài viết phân tích kinh nghiệm quốc tế từ ba quốc gia điển hình là Israel, Hàn Quốc và Singapore nhằm rút ra bài học và đề xuất khuyến nghị chính sách cho Việt Nam. Nghiên cứu sử dụng phương pháp định tính kết hợp so sánh trường hợp điển hình, dựa trên dữ liệu thứ cấp từ các báo cáo của OECD, UNESCO, WIPO và World Bank, đồng thời khai thác dữ liệu sơ cấp từ ba cuộc thảo luận nhóm với 18 chuyên gia trong lĩnh vực khoa học – công nghệ, giáo dục đại học, hoạch định chính sách và doanh nghiệp công nghệ. Kết quả cho thấy, mặc dù Việt Nam đã đạt được những tiến bộ nhất định trong phát triển kinh tế số và hệ sinh thái khởi nghiệp, song vẫn tồn tại bốn thách thức cốt lõi: mức đầu tư cho R&D còn thấp, chất lượng nguồn nhân lực chưa đồng đều, hệ sinh thái đổi mới sáng tạo thiếu nguồn vốn bền vững và thể chế sở hữu trí tuệ chưa hoàn thiện. Trên cơ sở đó, bài viết đề xuất các định hướng chính sách nhằm thúc đẩy hình thành và phát triển nền kinh tế trí tuệ tại Việt Nam trong giai đoạn tới.

Từ khóa: Kinh tế trí tuệ; Đổi mới sáng tạo; Đầu tư R&D; Nguồn nhân lực chất lượng cao; Chính sách phát triển.

ABSTRACT

In the context of a global shift toward knowledge-, technology-, and innovation-driven growth, developing an intellectual economy has become a strategic imperative for Vietnam. This paper examines international experiences from three representative countries including Israel, South Korea, and Singapore to derive lessons and policy implications for Vietnam. The study adopts a qualitative approach combined with comparative case analysis, drawing on secondary data from OECD, UNESCO, WIPO, and World Bank reports, as well as primary data collected from three focus group discussions involving 18 experts in science and technology management, higher education, policy research, and technology enterprises. The findings indicate that although Vietnam has made notable progress in digital transformation and the development of a startup ecosystem, four major challenges persist: low levels of R&D investment, uneven quality of human capital, an innovation ecosystem lacking sustainable financial resources, and an underdeveloped intellectual property framework. Based on these findings, the paper proposes key policy directions to promote the development of an intellectual economy in Vietnam in the coming period.

Keywords: Intellectual economy; Innovation; R&D investment; High-quality human capital; Development policy.

Ngày nhận bài: 20/10/2025; Ngày sửa bài: 17/12/2025; Ngày duyệt đăng: 20/12/2025

1. MỞ ĐẦU

Trong bối cảnh toàn cầu hóa và sự phát triển mạnh mẽ của Cách mạng công nghiệp lần thứ tư, tri thức, công nghệ, dữ liệu và đổi mới sáng tạo đã trở thành những nguồn lực sản xuất quan trọng, góp phần định hình năng lực cạnh tranh quốc gia. Nền kinh tế thế giới đang chứng kiến sự dịch chuyển từ mô hình tăng trưởng dựa vào lao động giá rẻ và khai thác tài nguyên sang mô hình phát triển dựa trên trí tuệ và giá trị gia tăng tri thức [1, 2]. Xu hướng này tạo ra một hình thái kinh tế mới – nền kinh tế trí tuệ – nơi tri thức, công nghệ số và sở hữu trí tuệ không chỉ là yếu tố bổ sung mà đã trở thành trụ cột phát triển. Các quốc gia đi đầu trong phát triển nền kinh tế trí tuệ như Israel, Hàn Quốc và Singapore đã chứng minh rằng, khi tri thức được coi là tài sản chiến lược quốc gia, nó có thể tạo ra những “cú nhảy vọt” về năng suất, đổi mới và năng lực hội nhập [3-5].

Đối với Việt Nam, phát triển nền kinh tế trí tuệ là một yêu cầu mang tính chiến lược để hiện thực hóa mục tiêu trở thành nước phát triển, có thu nhập cao vào năm 2045. Các văn kiện quan trọng như Chiến lược phát triển kinh tế – xã hội 2021–2030, Chiến lược chuyển đổi số quốc gia (2020) và Chiến lược khoa học, công nghệ và đổi mới sáng tạo đến năm 2030 đều nhấn mạnh vai trò then chốt của khoa học, công nghệ, đổi mới sáng tạo và tri thức trong phát triển đất nước. Trên thực tế, kinh tế số của Việt Nam đạt khoảng 20,5 tỷ USD năm 2023 (chiếm 16,5% GDP) và được dự báo sẽ đạt 45 tỷ USD vào năm 2025 (Google, Temasek & Bain, 2023). Hệ sinh thái khởi nghiệp cũng có những bước phát triển ấn tượng, đưa Việt Nam vào nhóm những quốc gia khởi nghiệp năng động nhất khu vực Đông Nam Á (StartupBlink, 2023). Những kết quả này khẳng định tiềm năng và nền tảng để Việt Nam tiến tới xây dựng nền kinh tế trí tuệ.

Tuy nhiên, nền kinh tế trí tuệ tại Việt Nam vẫn đang trong giai đoạn khởi đầu và tồn tại

không ít hạn chế. Chỉ cho R&D chỉ đạt 0,53% GDP, thấp hơn nhiều so với mức trung bình toàn cầu (1,7%) và khoảng cách xa so với các nước đi đầu như Israel (5,6%) hay Hàn Quốc (4,8%) [6, 7]. Số lượng bằng sáng chế quốc tế còn hạn chế [8], chất lượng nguồn nhân lực chưa đồng đều khi tỷ lệ lao động qua đào tạo có bằng cấp, chứng chỉ mới đạt gần 28% [9]. Hạ tầng dữ liệu, kết nối số và cơ chế bảo hộ sở hữu trí tuệ chưa hoàn thiện, dẫn đến việc nhiều ý tưởng sáng tạo chưa được thương mại hóa hoặc bị thất thoát [10]. Những hạn chế này phản ánh nguy cơ Việt Nam bị “tụt hậu kép” vừa chưa kịp bắt nhịp với xu hướng kinh tế trí tuệ toàn cầu, vừa bị bỏ xa trong khu vực nếu không có chính sách quyết liệt.

Trong lĩnh vực nghiên cứu, đã có nhiều công trình tiếp cận khái niệm kinh tế tri thức và chuyển đổi số ở Việt Nam [11-13]. Tuy nhiên, các nghiên cứu này chủ yếu tập trung vào các yếu tố đơn lẻ như giáo dục, hạ tầng công nghệ hoặc đổi mới sáng tạo, trong khi chưa có công trình nào phân tích một cách hệ thống khung chính sách phát triển nền kinh tế trí tuệ cho Việt Nam dựa trên kinh nghiệm quốc tế. Chính khoảng trống nghiên cứu này đặt ra nhu cầu phải có các nghiên cứu so sánh, đối chiếu với các quốc gia điển hình, từ đó rút ra những bài học thực tiễn và đề xuất chính sách khả thi.

Xuất phát từ bối cảnh trên, bài báo này lựa chọn Israel, Hàn Quốc và Singapore làm ba trường hợp điển hình để phân tích và so sánh. Israel nổi tiếng với mô hình “quốc gia khởi nghiệp”, Hàn Quốc là hình mẫu của chiến lược R&D và công nghiệp công nghệ cao, còn Singapore đại diện cho tầm nhìn Smart Nation với sự dẫn dắt của thể chế minh bạch và quản trị dữ liệu hiện đại.

Đóng góp của nghiên cứu nằm ở ba điểm. Thứ nhất, nghiên cứu cung cấp một phân tích hệ thống về khái niệm, cấu phần và động lực của nền kinh tế trí tuệ trong bối cảnh hội nhập toàn cầu. Thứ hai, nghiên cứu bổ sung góc nhìn so sánh quốc tế, qua đó rút

ra những bài học thiết thực cho Việt Nam. Thứ ba, kết quả nghiên cứu sẽ đóng góp trực tiếp cho quá trình hoạch định chính sách, tạo cơ sở khoa học để xây dựng Chiến lược phát triển kinh tế trí tuệ quốc gia đến năm 2045.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU

2.1. Cơ sở lý thuyết

Nền kinh tế trí tuệ được tiếp cận từ nhiều cơ sở lý thuyết khác nhau, trong đó quan trọng nhất là lý thuyết tăng trưởng nội sinh, lý thuyết tiến hóa công nghệ, khung hệ sinh thái đổi mới sáng tạo và lý thuyết về vốn trí tuệ. Trước hết, các mô hình tăng trưởng nội sinh [14, 15] đã nhấn mạnh vai trò của tri thức, công nghệ và đổi mới sáng tạo như những yếu tố sản xuất có khả năng tự tái tạo, tạo ra tăng trưởng dài hạn. Không giống như vốn vật chất hay lao động, tri thức là yếu tố phi đối kháng (non-rivalrous) và có tính lan tỏa cao, do đó các quốc gia càng đầu tư vào giáo dục, nghiên cứu và công nghệ thì càng có khả năng đạt được tăng trưởng bền vững. Điều này giải thích tại sao những quốc gia như Israel hay Hàn Quốc, dù hạn chế về tài nguyên thiên nhiên, vẫn có thể bứt phá nhờ vào tích lũy và khai thác tri thức.

Quá trình phát triển kinh tế là kết quả của những thay đổi tiệm tiến trong công nghệ và đổi mới sáng tạo, được thúc đẩy bởi sự cạnh tranh và thích nghi [16]. Điều này phù hợp với đặc trưng của nền kinh tế trí tuệ, nơi mà công nghệ, đặc biệt là công nghệ số, liên tục thay đổi, buộc doanh nghiệp và xã hội phải học hỏi và đổi mới liên tục. Cách tiếp cận tiến hóa này cũng nhấn mạnh sự đa dạng của con đường phát triển, hàm ý rằng Việt Nam có thể học hỏi nhưng không thể sao chép nguyên xi mô hình từ Israel, Hàn Quốc hay Singapore.

Một khung lý thuyết quan trọng khác là mô hình Triple Helix của [17], nhấn mạnh mối quan hệ tương tác giữa nhà nước, trường đại học và doanh nghiệp trong thúc đẩy đổi mới sáng tạo. Mô hình này sau đó được mở

rộng thành Quadruple Helix, bổ sung vai trò của xã hội và người dân, nhấn mạnh tính toàn diện và sự tham gia rộng rãi trong hệ sinh thái đổi mới sáng tạo [18]. Đối với nền kinh tế trí tuệ, mô hình này giải thích tại sao chính phủ kiến tạo, các trường đại học nghiên cứu, doanh nghiệp công nghệ và sự tham gia của người dân cùng tạo nên một hệ sinh thái sáng tạo năng động.

Ngoài ra, lý thuyết về vốn trí tuệ cũng cung cấp cơ sở phân tích quan trọng. Stewart (2010) cho rằng trong nền kinh tế hiện đại, giá trị doanh nghiệp và quốc gia không chỉ nằm ở vốn vật chất mà chủ yếu ở vốn trí tuệ, bao gồm vốn nhân lực (kiến thức, kỹ năng), vốn cấu trúc (hệ thống, quy trình, dữ liệu) và vốn quan hệ (mạng lưới, thương hiệu, niềm tin xã hội) [19]. Những thành tố này quyết định khả năng đổi mới và tạo ra giá trị của nền kinh tế trí tuệ. Các báo cáo gần đây cũng khẳng định tài sản vô hình, đặc biệt là dữ liệu và sở hữu trí tuệ, đã trở thành yếu tố đóng góp lớn hơn vốn hữu hình trong tăng trưởng GDP toàn cầu [20, 21].

Từ những cơ sở lý thuyết trên, kinh tế trí tuệ được hiểu là nền kinh tế mà giá trị gia tăng được tạo ra thông qua việc sáng tạo, bảo hộ, khai thác và thương mại hóa tri thức, công nghệ và tài sản trí tuệ, thay vì dựa vào tài nguyên vật chất hay lao động giản đơn. Trong kinh tế trí tuệ, tri thức không chỉ được tạo ra mà còn được thể chế hóa (luật, chuẩn mực), được bảo hộ (sở hữu trí tuệ), và được chuyển hóa thành sản phẩm, dịch vụ, mô hình kinh doanh có giá trị cao. Thêm vào đó, nền kinh tế trí tuệ thường dựa trên 5 trụ cột chính: Nguồn nhân lực trí tuệ chất lượng cao (nhà khoa học, kỹ sư, nhà sáng tạo, doanh nhân công nghệ); Hoạt động R&D và đổi mới sáng tạo liên tục (AI, công nghệ số, công nghệ lõi); Hệ thống sở hữu trí tuệ hiệu quả (bằng sáng chế, bản quyền, nhãn hiệu, dữ liệu); Hệ sinh thái thương mại hóa tri thức (startup công nghệ, quỹ đầu tư, vườn ươm, chuyên gia công nghệ); Thể chế kiến tạo và quản trị hiện đại (chính sách, dữ liệu

mở, liên kết nhà nước – viện – trường – doanh nghiệp)

Trong nghiên cứu này, tác giả phân biệt giữa khái niệm kinh tế tri thức và kinh tế trí tuệ. Kinh tế tri thức phản ánh xu thế chung của sự chuyển dịch từ nền kinh tế dựa vào tài nguyên vật chất sang nền kinh tế dựa trên tri thức, công nghệ và nguồn nhân lực chất lượng cao. Trong khi đó, kinh tế trí tuệ được tiếp cận như một giai đoạn phát triển sâu hơn, nhấn mạnh vai trò trung tâm của tài sản trí tuệ, quyền sở hữu trí tuệ và khả năng thương mại hóa tri thức trong tạo ra giá trị kinh tế. Theo cách tiếp cận này, tri thức chỉ thực sự trở thành động lực tăng trưởng khi được thể chế hóa, bảo hộ và chuyển hóa thành sản phẩm, dịch vụ và mô hình kinh doanh có giá trị gia tăng cao. Trên cơ sở đó, bài viết lựa chọn tiếp cận kinh tế trí tuệ nhằm làm rõ các điều kiện nền tảng và cơ chế chính sách cần thiết để Việt Nam không chỉ tích lũy tri thức, mà còn khai thác và chuyển hóa hiệu quả tri thức thành nguồn lực phát triển bền vững. Tóm lại, nếu kinh tế tri thức trả lời câu hỏi “xã hội có bao nhiêu tri thức”, thì kinh tế trí tuệ trả lời câu hỏi “tri thức đó được chuyển hóa thành giá trị kinh tế như thế nào”.

2.2. Tổng quan nghiên cứu

Trên bình diện quốc tế, nền kinh tế trí tuệ được nghiên cứu từ nhiều hướng tiếp cận. Một dòng nghiên cứu tập trung vào kinh nghiệm quốc gia. Senior và Singer (2011) khái quát sự thành công của Israel trong “Start-up Nation”, cho thấy sự kết hợp giữa vốn con người, hệ sinh thái khởi nghiệp và chính sách nhà nước tạo ra một nền kinh tế dựa trên đổi mới. Lee và Lim (2001) phân tích kinh nghiệm Hàn Quốc, nhấn mạnh chiến lược “đuổi kịp và vượt lên” thông qua đầu tư mạnh vào R&D và công nghiệp công nghệ cao. Low (2016) nghiên cứu Singapore với tầm nhìn Smart Nation, khẳng định dữ liệu và công nghệ số là nền tảng phát triển [22]. Các báo cáo của OECD

(2023), UNESCO (2022) và WIPO (2023) cũng cung cấp các chỉ số so sánh quốc tế, chỉ ra rằng đầu tư vào R&D, sở hữu trí tuệ và chất lượng nguồn nhân lực là ba yếu tố quyết định trong nền kinh tế trí tuệ.

Một dòng nghiên cứu khác tập trung vào khía cạnh đổi mới sáng tạo và hệ sinh thái khởi nghiệp. Dutta và cộng sự (2023) phân tích vai trò của chính sách trong hình thành hệ sinh thái khởi nghiệp [21], trong khi Stam (2015) nhấn mạnh tầm quan trọng của môi trường thể chế và mạng lưới trong phát triển doanh nghiệp sáng tạo [23]. Gần đây, Zadegan và cộng sự (2025) mở rộng khung Quadruple Helix, đề xuất khái niệm “Quintuple Helix” với sự bổ sung yếu tố môi trường, nhấn mạnh rằng phát triển kinh tế trí tuệ phải gắn liền với phát triển bền vững [24]. Những nghiên cứu này cho thấy, nền kinh tế trí tuệ không chỉ phụ thuộc vào công nghệ mà còn đòi hỏi thể chế minh bạch, xã hội năng động và sự gắn kết của nhiều chủ thể.

Ở Việt Nam, nghiên cứu về kinh tế trí tuệ và đổi mới sáng tạo đã được quan tâm trong hơn hai thập kỷ qua. Hương (2013) phân tích vai trò của giáo dục đại học trong phát triển kinh tế trí tuệ [11]. Hiệp (2021) nghiên cứu tác động của chuyển đổi số đến năng lực cạnh tranh quốc gia [25]. Thảo và Vy (2022) nhấn mạnh đổi mới sáng tạo như một động lực quan trọng trong CMCN 4.0 [26]. Tuy nhiên, những công trình này chủ yếu tiếp cận từng khía cạnh đơn lẻ như giáo dục, hạ tầng số hoặc khởi nghiệp, mà chưa có nghiên cứu nào xây dựng được một khung khái niệm toàn diện về nền kinh tế trí tuệ cho Việt Nam.

Báo cáo đổi mới sáng tạo và chuyển đổi số Việt Nam [27] cho thấy Việt Nam có tiềm năng lớn nhưng đang đối mặt với thách thức về hạ tầng dữ liệu và chất lượng nhân lực. Báo cáo của Tổng cục Thống kê (2023) chỉ ra tỷ lệ lao động qua đào tạo có bằng cấp, chứng chỉ còn thấp, đặt ra yêu cầu cấp bách trong phát triển nguồn nhân lực trí tuệ [9].

Như vậy, có thể thấy rằng khoảng trống nghiên cứu lớn hiện nay nằm ở việc thiếu các phân tích hệ thống, so sánh quốc tế, và khung chính sách tích hợp cho phát triển nền kinh tế trí tuệ tại Việt Nam.

Tổng quan nghiên cứu cho thấy, trong khi các quốc gia đi đầu đã xây dựng nền kinh tế trí tuệ dựa trên chiến lược dài hạn, đầu tư R&D và thể chế sở hữu trí tuệ mạnh mẽ, thì tại Việt Nam, nghiên cứu vẫn phân tán, chủ yếu ở mức khái niệm hoặc từng mảng nhỏ. Điều này đặt ra yêu cầu cấp thiết phải có các nghiên cứu vừa mang tính khái quát, vừa dựa trên bằng chứng thực tiễn, để đề xuất chính sách khả thi cho phát triển nền kinh tế trí tuệ quốc gia.

3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

3.1. Cách tiếp cận nghiên cứu

Nghiên cứu này lựa chọn cách tiếp cận định tính kết hợp so sánh trường hợp điển hình (comparative case study). Đây là phương pháp phù hợp khi mục tiêu nghiên cứu là phân tích kinh nghiệm của các quốc gia điển hình, từ đó rút ra bài học cho Việt Nam. Theo Yin (2018), nghiên cứu trường hợp điển hình cho phép khám phá những hiện tượng phức tạp trong bối cảnh thực tiễn, còn phương pháp so sánh giúp làm rõ sự tương đồng và khác biệt giữa các trường hợp [28]. Đối với chủ đề nền kinh tế trí tuệ, vốn chịu ảnh hưởng sâu sắc từ điều kiện thể chế, xã hội và văn hóa, cách tiếp cận này giúp tránh việc đơn giản hóa vấn đề, đồng thời cung cấp cái nhìn đa chiều và giàu tính bối cảnh.

3.2. Lựa chọn trường hợp nghiên cứu

Ba quốc gia được lựa chọn để so sánh là Israel, Hàn Quốc và Singapore. Tiêu chí lựa chọn dựa trên bốn yếu tố. Thứ nhất, đây là những quốc gia có thành công nổi bật trong xây dựng nền kinh tế trí tuệ mặc dù xuất phát điểm hạn chế về tài nguyên. Thứ hai, cả ba đều có mô hình phát triển khác nhau: Israel nổi bật với hệ sinh thái khởi nghiệp và đầu tư mạo hiểm ([29]), Hàn Quốc thành

công nhờ chiến lược công nghiệp hóa dựa vào R&D và các tập đoàn công nghiệp lớn, trong khi Singapore lại nhấn mạnh vai trò của chính phủ kiến tạo và thể chế minh bạch [22]. Thứ ba, cả ba quốc gia này đều có sự tương đồng nhất định với Việt Nam về quy mô dân số, quá trình công nghiệp hóa và định hướng hội nhập quốc tế. Thứ tư, các quốc gia này thường được OECD, WIPO và World Bank coi là hình mẫu trong đổi mới sáng tạo, nhờ đó có nhiều dữ liệu tin cậy để phân tích.

3.3. Thu thập dữ liệu

Nghiên cứu sử dụng kết hợp dữ liệu thứ cấp và dữ liệu sơ cấp. Dữ liệu thứ cấp được thu thập từ các nguồn quốc tế uy tín như OECD (2021, 2023), UNESCO (2022), WIPO (2023), IMF (2022), World Bank (2022), cùng với các bài báo khoa học được công bố trong hệ thống Scopus và Web of Science từ năm 2000 đến 2024. Đồng thời, nghiên cứu cũng khai thác các báo cáo và văn kiện trong nước như Chiến lược phát triển kinh tế – xã hội 2021–2030, Chiến lược chuyển đổi số quốc gia, và Chiến lược khoa học, công nghệ và đổi mới sáng tạo đến năm 2030. Bên cạnh đó, dữ liệu sơ cấp được thu thập thông qua ba cuộc thảo luận nhóm (focus group) với sự tham gia của 18 chuyên gia, bao gồm nhà quản lý trong lĩnh vực khoa học – công nghệ, giảng viên đại học, nhà nghiên cứu chính sách và doanh nghiệp công nghệ. Các cuộc thảo luận này nhằm kiểm chứng sự phù hợp của các bài học quốc tế đối với bối cảnh Việt Nam.

3.4. Phương pháp phân tích

Dữ liệu thu thập được xử lý bằng phương pháp phân tích nội dung (content analysis) và phân tích so sánh (comparative analysis). Trước hết, toàn bộ tài liệu được đọc kỹ và mã hóa thành các chủ đề chính: đầu tư R&D, phát triển nguồn nhân lực, hệ sinh thái đổi mới sáng tạo, sở hữu trí tuệ và vai trò của nhà nước. Quá trình mã hóa được thực hiện theo hướng dẫn của [30], đảm bảo

tính hệ thống và minh bạch. Sau đó, nghiên cứu tiến hành phân tích so sánh giữa Israel, Hàn Quốc, Singapore và Việt Nam để nhận diện những điểm tương đồng, khác biệt và khả năng vận dụng. Các dữ liệu từ thảo luận nhóm được tích hợp vào phân tích nhằm bổ sung góc nhìn thực tiễn. Nhờ đó, nghiên cứu vừa có cơ sở lý luận vững chắc, vừa gắn với nhu cầu chính sách của Việt Nam.

3.5. Đảm bảo độ tin cậy và giá trị nghiên cứu

Để bảo đảm độ tin cậy và giá trị nghiên cứu, phương pháp tam giác hóa (triangulation) được áp dụng, kết hợp ba nguồn dữ liệu (tài liệu quốc tế, văn kiện trong nước, và ý kiến chuyên gia) cùng nhiều phương pháp phân tích. Các dữ liệu quốc tế được đối chiếu với dữ liệu trong nước nhằm kiểm tra tính tương thích và phát hiện khoảng trống. Việc lựa chọn ba trường hợp điển hình với sự đa dạng về mô hình phát triển cũng giúp tăng khả năng khái quát của kết quả nghiên cứu. Tuy nhiên, nghiên cứu cũng thừa nhận hạn chế khi chưa khai thác sâu dữ liệu định lượng quy mô lớn, do đó kết quả chủ yếu mang tính gợi ý chính sách, cần tiếp tục được kiểm chứng bằng các nghiên cứu định lượng trong tương lai.

4. THỰC TRẠNG VÀ KINH NGHIỆM QUỐC TẾ

4.1. Israel – Mô hình quốc gia khởi nghiệp

Israel thường được coi là hình mẫu điển hình của nền kinh tế trí tuệ với danh xưng “quốc gia khởi nghiệp” [29]. Mặc dù có quy mô dân số nhỏ (khoảng 9,7 triệu người năm 2023) và hạn chế về tài nguyên, Israel đã xây dựng thành công hệ sinh thái đổi mới sáng tạo toàn diện. Tỷ lệ chi cho R&D của Israel luôn duy trì mức cao nhất thế giới, đạt khoảng 5,6% GDP năm 2022 (OECD, 2023). Chính phủ Israel đóng vai trò kiến tạo với các chính sách hỗ trợ mạnh mẽ, trong đó Chương trình Yozma (1993) đã tạo nền tảng phát triển quỹ đầu tư mạo hiểm,

khuyến khích tư nhân tham gia bằng cơ chế “vốn môi” của nhà nước ([31]).

Các trường đại học và viện nghiên cứu của Israel, như Technion và Hebrew University, giữ vai trò trung tâm trong nghiên cứu khoa học và thương mại hóa sáng chế. Bên cạnh đó, quân đội Israel cũng đóng góp quan trọng thông qua đào tạo công nghệ cao và chuyển giao nhân lực sang khu vực tư nhân. Nhờ vậy, Israel hiện có hơn 6.000 startup hoạt động, với nhiều kỳ lân công nghệ trong lĩnh vực AI, an ninh mạng và nông nghiệp công nghệ cao (Start-Up Nation Central, 2023). Bài học lớn nhất từ Israel là sự kết hợp hiệu quả giữa chính phủ kiến tạo, viện – trường nghiên cứu, doanh nghiệp công nghệ và hệ sinh thái khởi nghiệp năng động.

4.2. Hàn Quốc – Mô hình dựa trên R&D và công nghiệp công nghệ cao

Hàn Quốc là một trong những quốc gia có tốc độ công nghiệp hóa nhanh nhất thế giới, chuyển mình từ nước nghèo sau chiến tranh thành nền kinh tế công nghệ cao chỉ trong vài thập kỷ. Yếu tố then chốt là chiến lược đầu tư mạnh mẽ cho R&D và phát triển công nghiệp công nghệ cao. Năm 2022, chi cho R&D của Hàn Quốc đạt 4,9% GDP, thuộc nhóm cao nhất toàn cầu (OECD, 2023). Chính phủ Hàn Quốc tập trung xây dựng các chính sách phát triển công nghệ mũi nhọn, đồng thời khuyến khích mối quan hệ hợp tác chặt chẽ giữa nhà nước, viện nghiên cứu và các tập đoàn lớn (chaebol) như Samsung, LG, Hyundai (Lee & Lim, 2001).

Hệ thống giáo dục của Hàn Quốc được thiết kế nhằm đào tạo nhân lực STEM quy mô lớn, với tỷ lệ sinh viên khoa học và kỹ thuật cao nhất trong OECD (UNESCO, 2022). Cùng với đó, chính phủ đầu tư vào các viện nghiên cứu chuyên ngành như KIST (Korea Institute of Science and Technology), đóng vai trò cầu nối giữa nghiên cứu cơ bản và ứng dụng. Hàn Quốc cũng chú trọng bảo hộ sở hữu trí tuệ, với số

lượng đơn đăng ký sáng chế quốc tế (PCT) đứng trong nhóm 5 quốc gia hàng đầu thế giới (WIPO, 2023). Kinh nghiệm của Hàn Quốc cho thấy sự kết hợp giữa chiến lược nhà nước định hướng, đầu tư R&D quy mô lớn và sự tham gia mạnh mẽ của khu vực doanh nghiệp là chìa khóa thành công.

4.3. Singapore – Mô hình nhà nước kiến tạo và quản trị dữ liệu

Singapore, với dân số khoảng 5,9 triệu người, là ví dụ điển hình của mô hình nhà nước kiến tạo trong phát triển nền kinh tế trí tuệ. Chính phủ Singapore từ lâu đã xác định khoa học, công nghệ và đổi mới sáng tạo là trụ cột phát triển quốc gia. Chiến lược Smart Nation được khởi động từ năm 2014, tập trung vào hạ tầng số, dữ liệu lớn và công nghệ mới như AI, Fintech, IoT [22]. Singapore chỉ khoảng 2,2% GDP cho R&D và đang có kế hoạch tăng cường đầu tư vào các ngành công nghệ mũi nhọn (IMF, 2022).

Một đặc điểm nổi bật của Singapore là thể chế minh bạch và cơ chế bảo hộ sở hữu trí tuệ mạnh mẽ. Nước này liên tục đứng trong nhóm dẫn đầu Chỉ số đổi mới sáng tạo toàn cầu (GII) của WIPO. Bên cạnh đó, Singapore đặc biệt chú trọng phát triển nguồn nhân lực thông qua chính sách “học tập suốt đời” và thu hút nhân tài toàn cầu. Các trường đại học như NUS và NTU không chỉ là cơ sở đào tạo mà còn là trung tâm nghiên cứu hàng đầu châu Á, có nhiều công trình khoa học được thương mại hóa. Kinh nghiệm từ Singapore cho thấy vai trò trung tâm của chính phủ kiến tạo, kết hợp với thể chế pháp lý minh bạch, đã tạo điều kiện thuận lợi cho sự phát triển của nền kinh tế trí tuệ.

4.4. Bài học kinh nghiệm rút ra cho Việt Nam

Phân tích kinh nghiệm từ Israel, Hàn Quốc và Singapore cho thấy một số bài học quan trọng đối với Việt Nam trong quá trình xây dựng và phát triển nền kinh tế trí tuệ. Thứ nhất, thành công của các quốc gia này

cho thấy đầu tư cho R&D cần được duy trì ở mức cao, ổn định và có định hướng dài hạn; trong khi đó, việc phụ thuộc vào ngân sách nhà nước hoặc đầu tư dàn trải có thể làm giảm hiệu quả đổi mới sáng tạo. Thứ hai, phát triển nguồn nhân lực chất lượng cao phải gắn chặt với nhu cầu của doanh nghiệp và thị trường, nếu không sẽ dẫn đến tình trạng dư thừa bằng cấp nhưng thiếu năng lực thực tiễn. Thứ ba, thể chế sở hữu trí tuệ đóng vai trò then chốt trong việc khuyến khích sáng tạo; những hạn chế trong bảo hộ và thực thi quyền sở hữu trí tuệ có thể làm suy giảm động lực đổi mới. Bên cạnh các bài học thành công, kinh nghiệm quốc tế cũng cho thấy rủi ro của việc phát triển kinh tế trí tuệ thiếu đồng bộ, khi chính sách, nguồn lực và thể chế không được kết nối hiệu quả. Những bài học này là cơ sở quan trọng để Việt Nam xây dựng lộ trình phù hợp với điều kiện trong nước.

5. THỰC TRẠNG VÀ THÁCH THỨC CỦA VIỆT NAM

Ngoài các dữ liệu thứ cấp, kết quả từ ba cuộc thảo luận nhóm (focus group) với 18 chuyên gia trong nước đã cung cấp thêm bằng chứng thực tiễn cho phân tích. Các chuyên gia gồm nhà quản lý trong lĩnh vực khoa học – công nghệ, giảng viên đại học, nhà nghiên cứu chính sách và đại diện doanh nghiệp công nghệ. Phần lớn ý kiến thống nhất rằng Việt Nam đang sở hữu nền tảng tốt để chuyển sang kinh tế trí tuệ nhờ sự phát triển nhanh của kinh tế số và hệ sinh thái khởi nghiệp. Tuy nhiên, họ cũng chỉ ra bốn điểm nghẽn chính: (i) đầu tư cho R&D còn manh mún và thiếu định hướng dài hạn; (ii) chất lượng nhân lực khoa học – công nghệ chưa đáp ứng nhu cầu doanh nghiệp; (iii) cơ chế liên kết viện – trường – doanh nghiệp yếu; và (iv) hệ thống sở hữu trí tuệ chưa thực sự khuyến khích sáng tạo. Các nhận định này cũng có kết quả phân tích tài liệu và làm rõ những thách thức trọng tâm cần giải quyết trong quá trình phát triển nền

kinh tế trí tuệ tại Việt Nam.

5.1. Đầu tư cho R&D và đổi mới sáng tạo

Trong những năm qua, Việt Nam đã bước đầu coi khoa học, công nghệ và đổi mới sáng tạo là động lực phát triển. Tuy nhiên, mức chi cho R&D còn rất khiêm tốn. Theo UNESCO (2022), chỉ tiêu cho R&D của Việt Nam chỉ đạt 0,53% GDP, trong khi trung bình thế giới khoảng 2,3% GDP. Báo cáo của Vietnam News (2023) cũng xác nhận rằng năm 2023, chi tiêu R&D của Việt Nam vẫn ở mức thấp, khoảng 0,4% GDP, thấp hơn nhiều so với các quốc gia trong khu vực như Trung Quốc (2,5%), Singapore (1,9%) và Malaysia (1%).

Cơ cấu chi tiêu cho R&D chủ yếu dựa vào ngân sách nhà nước, trong khi đóng góp từ khu vực tư nhân còn hạn chế. Dù vậy, một điểm tích cực là sự gia tăng tỷ lệ đầu tư từ doanh nghiệp: từ mức 12% tổng chi R&D năm 2015 lên khoảng 64% trong những năm gần đây. Tuy nhiên, con số tuyệt đối vẫn thấp, và khả năng thương mại hóa kết quả nghiên cứu còn hạn chế. Thách thức lớn là làm thế nào để huy động vốn xã hội và doanh nghiệp tham gia R&D một cách bền vững, thay vì phụ thuộc vào ngân sách nhà nước.

5.2. Nguồn nhân lực và trình độ chất lượng cao

Việt Nam đang hưởng lợi từ cơ cấu dân số vàng, với hơn 50% dân số dưới 35 tuổi. Tuy nhiên, chất lượng nguồn nhân lực còn là điểm nghẽn quan trọng. Theo Tổng cục Thống kê (2023), tỷ lệ lao động qua đào tạo có bằng cấp, chứng chỉ chỉ đạt 28%, thấp hơn nhiều so với các quốc gia trong Tổ chức Hợp tác và Phát triển Kinh tế (OECD). Ngân hàng Thế giới (2022) nhấn mạnh rằng Việt Nam thiếu hụt trầm trọng nhân lực chất lượng cao trong các ngành STEM, đặc biệt là khoa học dữ liệu, trí tuệ nhân tạo và công nghệ sinh học (World Bank, 2022).

Ngoài ra, hiện tượng “chảy máu chất

xám” vẫn đáng lo ngại, khi nhiều nhân lực công nghệ trẻ chọn làm việc tại nước ngoài hoặc các tập đoàn đa quốc gia với mức đãi ngộ tốt hơn. Các chương trình đào tạo trong nước còn nặng lý thuyết, thiếu tính thực hành và chưa gắn kết chặt chẽ với nhu cầu doanh nghiệp, dẫn đến khoảng cách lớn giữa kiến thức được giảng dạy và kỹ năng thực tế. Điều này đặt ra yêu cầu đổi mới mạnh mẽ hệ thống giáo dục đại học, tăng cường hợp tác viện – trường – doanh nghiệp để nâng cao chất lượng nguồn nhân lực.

5.3. Hệ sinh thái đổi mới sáng tạo và khởi nghiệp

Việt Nam đã trở thành một trong những hệ sinh thái khởi nghiệp phát triển nhanh nhất Đông Nam Á. Tính đến cuối năm 2024, cả nước có trên 4.000 startup, trong đó có 2 “kỳ lân” (unicorn) và 11 dự án được định giá trên 100 triệu USD. Hệ sinh thái bao gồm hơn 1.400 tổ chức hỗ trợ, 202 không gian làm việc chung, 208 quỹ đầu tư mạo hiểm, 35 chương trình tăng tốc khởi nghiệp và 79 vườn ươm công nghệ, cùng với sự tham gia của hơn 170 trường đại học và cao đẳng.

Tuy nhiên, hệ sinh thái này vẫn dễ bị tổn thương trước biến động toàn cầu. Báo cáo Vietnam Innovation and Tech Investment Report 2024 cho thấy vốn đầu tư vào startup công nghệ năm 2023 giảm 17%, chỉ đạt 529 triệu USD, và tiếp tục giảm 52,7% trong nửa đầu năm 2024 so với cùng kỳ năm trước. Điều này cho thấy Việt Nam chưa có nguồn vốn nội địa bền vững cho khởi nghiệp công nghệ. Ngoài ra, liên kết giữa viện – trường và doanh nghiệp còn lỏng lẻo, khiến tỷ lệ thương mại hóa kết quả nghiên cứu thấp. Văn hóa chấp nhận rủi ro cũng chưa phổ biến, ảnh hưởng đến động lực khởi nghiệp sáng tạo.

5.4. Thể chế, chính sách và sở hữu trí tuệ

Khung thể chế của Việt Nam đã có nhiều cải thiện, đặc biệt với Luật Sở hữu trí tuệ sửa đổi (2022) và Chiến lược phát triển khoa

học, công nghệ và đổi mới sáng tạo đến năm 2030. Việt Nam cũng tăng 2 bậc trong Chỉ số Đổi mới sáng tạo toàn cầu 2024, đứng thứ 44/133 quốc gia, duy trì vị thế trong nhóm dẫn đầu các nền kinh tế có thu nhập trung bình thấp (WIPO, 2024). Tuy nhiên, thực thi pháp luật còn nhiều bất cập ví dụ thủ tục đăng ký sáng chế, nhãn hiệu kéo dài, chi phí cao và cơ chế xử lý vi phạm chưa đủ sức răn đe.

Một điểm yếu khác là chính sách quản trị và chia sẻ dữ liệu. Việt Nam chưa có khung pháp lý toàn diện về dữ liệu mở, trong khi đây là tài sản quan trọng của nền kinh tế trí tuệ. Ngoài ra, sự phân tán trong quản lý giữa các bộ làm giảm tính nhất quán trong điều hành, ảnh hưởng đến hiệu quả của chính sách đổi mới sáng tạo.

6. BÀI HỌC RÚT RA CHO VIỆT NAM VÀ ĐỊNH HƯỚNG GIẢI PHÁP

Trên cơ sở phân tích lý luận, kinh nghiệm quốc tế và thực trạng Việt Nam, mục này tập trung đề xuất các khuyến nghị chính sách nhằm xây dựng nền tảng và phát triển nền kinh tế trí tuệ tại Việt Nam theo lộ trình cụ thể. Các khuyến nghị được chia thành hai giai đoạn: giai đoạn xây dựng nền tảng kinh tế trí tuệ và giai đoạn phát triển kinh tế trí tuệ theo chiều sâu, qua đó làm rõ những đóng góp và điểm mới của nghiên cứu.

6.1. Chính phủ kiến tạo và tầm nhìn chiến lược dài hạn

Kinh nghiệm từ Israel với chương trình Yozma và Singapore với chiến lược Smart Nation cho thấy một tầm nhìn chiến lược xuyên suốt, nhất quán từ phía chính phủ là điều kiện tiên quyết để phát triển nền kinh tế trí tuệ. Đối với Việt Nam, việc ban hành Chiến lược quốc gia về phát triển kinh tế trí tuệ đến năm 2045 là cấp thiết, trong đó cần xác định rõ lĩnh vực ưu tiên (AI, bán dẫn, năng lượng tái tạo, nông nghiệp công nghệ cao, Fintech), lộ trình cụ thể và bộ chỉ số đánh giá minh bạch. Trong giai đoạn 2025–2030, chiến lược phải được thể chế

hóa thành văn kiện cấp quốc gia, đồng thời thành lập Ủy ban Quốc gia về Kinh tế Trí tuệ trực thuộc Chính phủ để điều phối liên ngành. Từ 2030–2035, các chương trình hành động sẽ được triển khai và đánh giá định kỳ, và đến 2045, Việt Nam có thể xác lập vị thế trung tâm đổi mới sáng tạo của khu vực. Trách nhiệm triển khai thuộc về Chính phủ, Bộ Kế hoạch và Đầu tư, Bộ Khoa học và Công nghệ (KH&CN) cùng Bộ Giáo dục và Đào tạo (GD&ĐT).

6.2. Tăng đầu tư cho R&D và đổi mới sáng tạo theo hướng “toàn dân”

Một trong những bài học lớn từ Israel và Hàn Quốc là đầu tư mạnh mẽ cho R&D, nơi tỷ lệ chi tiêu thường xuyên vượt mức 4,5% GDP (OECD, 2023). Trong khi đó, Việt Nam mới chỉ đạt 0,53% GDP (UNESCO, 2022). Do đó, cần một lộ trình rõ ràng: đến 2030 nâng chỉ cho R&D lên 1% GDP, đạt 1,5% vào năm 2035 và tiến tới 2% vào năm 2045. Đặc biệt, đổi mới sáng tạo không chỉ là nhiệm vụ của khu vực nghiên cứu hay các doanh nghiệp công nghệ lớn mà phải trở thành một phong trào toàn dân, đúng như quan điểm của Bộ trưởng Nguyễn Mạnh Hùng rằng “đổi mới sáng tạo toàn dân” mới có thể tạo ra sức mạnh lan tỏa. Điều này đòi hỏi cơ chế khuyến khích doanh nghiệp vừa và nhỏ (SMEs), cộng đồng startup, hợp tác xã và thậm chí người dân tham gia vào hoạt động sáng tạo thông qua quỹ hỗ trợ, ưu đãi thuế và các nền tảng đổi mới mở.

Cùng với đó, Quỹ Đổi mới sáng tạo quốc gia theo mô hình Yozma cần được thành lập, trong đó nhà nước đóng vai trò vốn môi để thu hút đầu tư tư nhân, còn doanh nghiệp giữ vai trò trung tâm trong việc chuyển đổi ý tưởng thành sản phẩm thương mại.

6.3. Phát triển nguồn nhân lực chất lượng cao và vai trò của các trường đại học, viện nghiên cứu

Nhân lực trí tuệ là “chìa khóa vàng” cho nền kinh tế trí tuệ. Israel chú trọng đào tạo công nghệ thông tin và khoa học quân sự,

Hàn Quốc nổi bật với tỷ lệ sinh viên STEM cao hàng đầu OECD, còn Singapore đầu tư mạnh cho học tập suốt đời và thu hút nhân tài quốc tế. Việt Nam cần đẩy mạnh cải cách giáo dục đại học theo hướng gắn đào tạo với nhu cầu thị trường, đặc biệt trong các lĩnh vực công nghệ mới như trí tuệ nhân tạo, khoa học dữ liệu, công nghệ sinh học, năng lượng tái tạo và an ninh mạng.

Trong đó, các trường đại học và viện nghiên cứu giữ vai trò hạt nhân. Các trường không chỉ đào tạo kỹ năng mà còn phải cung cấp tri thức nền tảng, nghiên cứu ứng dụng và đào tạo nhân lực tinh hoa phục vụ phát triển công nghệ lõi. Viện nghiên cứu cần đóng vai trò cầu nối giữa hàn lâm và doanh nghiệp, bảo đảm các kết quả nghiên cứu được thương mại hóa thành sản phẩm, sáng chế và giải pháp cho doanh nghiệp. Từ 2025–2030, Việt Nam cần đặt mục tiêu đào tạo lại một đến hai triệu lao động số, thí điểm các chương trình liên kết đại học – doanh nghiệp – viện nghiên cứu. Giai đoạn 2030–2035 sẽ mở rộng mạng lưới trung tâm đào tạo số quốc gia và hợp tác quốc tế, hướng đến 2045 trở thành trung tâm đào tạo nhân lực công nghệ hàng đầu ASEAN. Bộ GD&ĐT chịu trách nhiệm chính, trong khi các trường đại học và viện nghiên cứu là xương sống của hệ thống.

6.4. Hoàn thiện thể chế và tăng cường bảo hộ sở hữu trí tuệ

Một nền kinh tế trí tuệ chỉ có thể phát triển bền vững khi được bảo vệ bởi một hệ thống pháp luật minh bạch, đồng bộ và có khả năng khuyến khích sáng tạo từ toàn xã hội. Kinh nghiệm của Singapore cho thấy khung pháp lý rõ ràng, minh bạch cùng cơ chế bảo hộ quyền sở hữu trí tuệ hiệu quả đã tạo ra niềm tin cho doanh nghiệp và thu hút mạnh mẽ đầu tư nước ngoài [22]. Trong khi đó, thực tiễn tại Việt Nam cho thấy hệ thống pháp luật về sở hữu trí tuệ vẫn còn nhiều bất cập: thủ tục đăng ký còn phức tạp, thời gian xử lý kéo dài, cơ chế bảo hộ chưa

đủ mạnh để ngăn chặn vi phạm bản quyền, và mức độ tham gia của doanh nghiệp cũng như người dân vào hoạt động đăng ký sáng chế còn thấp [12].

Để khắc phục, Việt Nam cần xây dựng Chiến lược dữ liệu và sở hữu trí tuệ quốc gia nhằm tạo khung pháp lý toàn diện cho đổi mới sáng tạo. Trong giai đoạn 2025–2030, trước hết cần sửa đổi và bổ sung Luật Sở hữu trí tuệ để tiệm cận chuẩn OECD/WIPO, đồng thời thiết lập hệ thống quản lý sở hữu trí tuệ trực tuyến với quy trình đơn giản, minh bạch, giúp doanh nghiệp và người dân có thể đăng ký sáng chế, nhãn hiệu và bản quyền một cách nhanh chóng. Bên cạnh đó, nhà nước cần triển khai chương trình “Đổi mới sáng tạo toàn dân”, trong đó hỗ trợ một phần chi phí đăng ký sở hữu trí tuệ cho cá nhân, nhóm nghiên cứu, startup và SMEs, đặc biệt trong lĩnh vực công nghệ mới.

Đối với doanh nghiệp, cần có cơ chế khuyến khích đăng ký và khai thác tài sản trí tuệ thông qua ưu đãi thuế cho những doanh nghiệp có tỷ lệ chi R&D cao hoặc có số lượng sáng chế được thương mại hóa. Đồng thời, các quỹ bảo hộ sáng chế nên được thành lập để hỗ trợ doanh nghiệp khởi nghiệp, giúp họ có đủ năng lực tài chính bảo vệ quyền lợi trên thị trường quốc tế. Đối với người dân, cần triển khai rộng rãi các chương trình giáo dục cộng đồng về sở hữu trí tuệ, lồng ghép trong đào tạo phổ thông và đại học, đồng thời xây dựng cổng thông tin mở, nơi mọi cá nhân có thể dễ dàng tiếp cận hướng dẫn đăng ký và khai thác tài sản trí tuệ.

6.5. Xây dựng hệ sinh thái đổi mới sáng tạo và phát triển doanh nghiệp khởi nghiệp

Một hệ sinh thái đổi mới sáng tạo hiệu quả chỉ có thể hình thành nếu doanh nghiệp khởi nghiệp, đặc biệt là startup công nghệ, được hỗ trợ đầy đủ. Israel đã khẳng định điều này với hệ thống vườn ươm công nghệ, còn Hàn Quốc thành công nhờ các chaebol kết hợp với doanh nghiệp nhỏ để lan tỏa tri

thức. Việt Nam cần thúc đẩy mô hình “tứ giác đổi mới” gồm nhà nước, doanh nghiệp, trường đại học và xã hội, trong đó startup giữ vai trò tiên phong.

Cơ chế hỗ trợ cần bao gồm: ưu đãi thuế, vốn vay ưu đãi, thủ tục hành chính tinh gọn, mở rộng các quỹ đầu tư mạo hiểm và chương trình tăng tốc khởi nghiệp. Các trung tâm đổi mới sáng tạo quốc gia tại Hà Nội, TP.HCM và Đà Nẵng phải trở thành hạt nhân, mỗi trung tâm có quỹ đầu tư riêng để nuôi dưỡng startup từ giai đoạn ý tưởng đến thương mại hóa. Từ 2025–2030, ít nhất ba trung tâm cần được hình thành, đến 2030–2035 phải kết nối với mạng lưới quốc tế, và đến 2045, Việt Nam phấn đấu trở thành trung tâm khởi nghiệp công nghệ hàng đầu ASEAN.

7. KẾT LUẬN

Trong bối cảnh toàn cầu chuyển dịch mạnh mẽ sang mô hình phát triển dựa trên tri thức, dữ liệu và đổi mới sáng tạo, xây dựng nền kinh tế trí tuệ đã trở thành một xu thế tất yếu. Kinh nghiệm từ Israel, Hàn Quốc và Singapore cho thấy thành công trong phát triển kinh tế trí tuệ phụ thuộc vào ba yếu tố cốt lõi: mức đầu tư R&D cao và bền vững, nguồn nhân lực chất lượng cao được đào tạo gắn với nhu cầu thị trường, và hệ thống thể chế minh bạch khuyến khích đổi mới sáng tạo.

Để phát triển nền kinh tế trí tuệ, Việt Nam cần một mô hình phát triển “lai ghép”, vừa học hỏi các kinh nghiệm thành công quốc tế, vừa điều chỉnh cho phù hợp với bối cảnh trong nước. Trong dài hạn, chỉ khi đổi mới sáng tạo trở thành động lực chính của tăng trưởng, và toàn xã hội đều tham gia vào quá trình sáng tạo tri thức, Việt Nam mới có thể hiện thực hóa mục tiêu chuyển đổi thành nền kinh tế trí tuệ toàn diện.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Foray, D., *Economics of knowledge*. 2004: MIT press.

2. Development. Scientific, T. and I.I. Division, *Main science and technology indicators*. 1999: Organisation for Economic Co-operation and Development.

3. Gringarten, H., *Start-up nation: The story of Israel's economic miracle*. Journal of Multidisciplinary Research, 2010. **2**(2): p. 103-106.

4. Shamsuzzoha, A., et al., *Smart city for sustainable environment: A comparison of participatory strategies from Helsinki, Singapore and London*. Cities, 2021. **114**: p. 103194.

5. Lam, S.L., *Singapore: Braving the Asian Financial Crisis, Emerging Stronger, in Trauma to Triumph: Rising from the Ashes of the Asian Financial Crisis*. 2022, World Scientific. p. 459-487.

6. Siyanbola, W., et al., *Science, technology and innovation indicators in policy-making: the Nigerian experience*. Palgrave Communications, 2016. **2**(1): p. 1-9.

7. Ozkaya, G., M. Timor, and C. Erdin, *Science, technology and innovation policy indicators and comparisons of countries through a hybrid model of data mining and MCDM methods*. Sustainability, 2021. **13**(2): p. 694.

8. Index, G.I., *WIPO–World Intellectual Property Organization*. URL: https://www.wipo.int/global_innovation_index/en/ (date of application: 03.04. 2024), 2023.

9. Thống-kê, V.Q.-g., *Niên-giám thống-kê Việt-nam*. (No Title).

10. Giang, D.T. and B.N.T. Ha, *Characteristics of transformative innovation policy and implications for science, technology and innovation policy in Vietnam*. Journal Science And Technology Policies And Management, 2022. **11**(3): p. 85-102.

11. Hương, N.T.N., *Phát triển kinh tế tri thức ở Việt Nam thực trạng và giải pháp*.

Tạp Chí Khoa Học Đại Học Mở Thành Phố Hồ Chí Minh-Kinh Tế Và Quản Trị Kinh Doanh, 2013. **8**(3): p. 97-109.

12. Viết, H.Đ. and A.M. Ngọc, *Đổi mới sáng tạo và năng lực cạnh tranh công nghiệp: Nghiên cứu thực nghiệm và hàm ý chính sách*. Tạp chí Kinh tế và Phát triển, 2024(329 (2)): p. 2-10.

13. Le Thi, V., *Đổi Mới Sáng Tạo-Chìa Khóa Thành Công Của Doanh Nghiệp Tư Nhân Việt Nam Trong Bối Cảnh Cách Mạng Công Nghiệp 4.0*. vwaajs-vn, 2021. **2019**(2): p. 20-27.

14. A'yun, I.Q., et al., *Analysis of the Development of E-Commerce Transactions in the 6 Highest Transaction Countries in Southeast Asia*. Journal of Economics Research and Social Sciences, 2024. **8**(2): p. 207-221.

15. Abd Hafidz, N.H. and F.M.M. Aziz. *The Development of ASEAN Digital Economy: A Case Study on Economic Growth and Challenges from 2019 to 2023*. in *2nd International Conference on Administrative Science (ICAS 2024)*. 2025. Atlantis Press.

16. Nelson, R.R. and S.G. Winter, *An evolutionary theory of economic change*. 1985: harvard university press.

17. Etzkowitz, H. and L. Leydesdorff, *The dynamics of innovation: from National Systems and “Mode 2” to a Triple Helix of university–industry–government relations*. Research policy, 2000. **29**(2): p. 109-123.

18. Carayannis, E.G. and D.F. Campbell, *‘Mode 3’ and ‘Quadruple Helix’: toward a 21st century fractal innovation ecosystem*. International journal of technology management, 2009. **46**(3-4): p. 201-234.

19. Stewart, T.A., *Intellectual Capital: The new wealth of organization*. 2010: Crown Currency.

20. Galindo Moreno, M.R., *Science, technology and innovation policy*

instruments for the Sustainable Development Goals: a global outlook. 2024: UNESCO Publishing.

21. Dutta, S., et al., *Global Innovation Index 2023: Innovation in the face of uncertainty*. 2023: Wipo.

22. Low, L.L., et al., *Housing as a social determinant of health in Singapore and its association with readmission risk and increased utilization of hospital services*. Frontiers in public health, 2016. **4**: p. 109.

23. Stam, E., *Entrepreneurial ecosystems and regional policy: a sympathetic critique*. European planning studies, 2015. **23**(9): p. 1759-1769.

24. Zadeegan, M.G., S. Ghazinoory, and S. Nasri, *The Triple Helix Model of Innovation and Sustainable Development Goals: A Literature Review*. Sustainable Development, 2025.

25. Hiệp, T.Đ., *Cải cách thể chế nhằm thúc đẩy năng lực cạnh tranh quốc gia của Việt Nam*.

26. Thảo, T.N.K. and T.P.T.T. Vy, *Cách Tân Đổi Mới Sáng Tạo Mô Hình Kinh Doanh Trong Bối Cảnh Cách Mạng Công Nghiệp 4.0*.

27. Ghi, T.N., et al., *Human capital, digital transformation, and firm performance of startups in Vietnam*. Management, 2022. **26**(1): p. 1-18.

28. Yin, R.K., *Case study research and applications: Design and methods*. (No Title), 2017.

29. Senior, D. and S. Singer, *Start-up nation: The story of Israel's economic miracle*. 2011: McClelland & Stewart.

30. Schreier, M., *Qualitative content analysis in practice*. 2012.

31. Brav, A., G. Lakan, and Y. Yafeh, *Private equity and venture capital fund performance: evidence from a large sample of Israeli limited partners*. European Corporate Governance Institute–Finance Working Paper, 2023(930).

CHÍNH SÁCH QUẢN LÝ AGENT ECONOMY TRONG THỜI ĐẠI SỐ: BÀI HỌC KINH NGHIỆM CHO VIỆT NAM

Lê Hải Hà

Viện Kinh doanh quốc tế và Logistics, Trường Đại học Thương Mại
Email: ha.lh@tmu.edu.vn

TÓM TẮT

Sự trỗi dậy của trí tuệ nhân tạo (AI) đang hình thành một “nền kinh tế tác nhân” (Agent Economy - AE) mới, nơi các tác nhân AI tự trị đại diện con người thực hiện nhiều nhiệm vụ phức tạp. Agent Economy hứa hẹn mang lại những lợi ích to lớn về năng suất và đổi mới, song cũng đặt ra các thách thức quản lý mới về riêng tư dữ liệu, an ninh, đạo đức và nguy cơ mất việc làm. Vấn đề cấp thiết là làm sao để con người có thể giám sát và kiểm soát một cách hiệu quả nền kinh tế do tác nhân AI vận hành khi hệ thống này có thể mở rộng vượt ngoài năng lực quản lý truyền thống. Nghiên cứu này sử dụng phương pháp tổng hợp tài liệu và so sánh chính sách quốc tế, qua đó đề xuất một khung chính sách gồm 6 nhóm giải pháp cho Việt Nam nhằm vừa thúc đẩy phát triển AI vừa kiểm soát rủi ro trong thời đại số. Khung chính sách đề xuất góp phần tạo nền tảng cho Việt Nam chủ động đón nhận Agent Economy một cách an toàn và hiệu quả.

Từ khóa: Agent economy; Agentic AI; chính sách; quản lý; Việt Nam

ABSTRACT

The rapid emergence of Artificial Intelligence (AI) is ushering in a new “Agent Economy” (AE), in which autonomous AI agents act on behalf of humans to perform complex tasks. While the Agent Economy promises substantial gains in productivity and innovation, it simultaneously presents profound governance challenges related to data privacy, security, ethics, and job displacement. A pressing concern is how humans can effectively oversee and regulate an AI-driven economy that may expand beyond the reach of traditional governance mechanisms. This study adopts a literature synthesis and comparative policy analysis approach to propose a six-pillar policy framework tailored for Vietnam. The framework aims to simultaneously foster AI development and mitigate associated risks in the digital age, thereby laying a strategic foundation for Vietnam to engage proactively, safely, and effectively with the Agent Economy.

Keywords: Agent economy; Agentic AI, policy, governance, Vietnam

Ngày nhận bài: 08/11/2025; **Ngày sửa bài:** 15/12/2025; **Ngày duyệt đăng:** 20/12/2025

1. MỞ ĐẦU

Năm 2025 được gọi là “năm của các tác nhân AI” cho thấy sự chuyển đổi căn bản trong công nghệ: AI không còn chỉ là công cụ hỗ trợ mà đã bắt đầu tự động ảnh hưởng đến môi trường thực và đưa ra các quyết định độc lập [1][2]. Điều này đòi hỏi phải có khung quản lý tương ứng nhằm đảm bảo những hệ thống tự động này mang lại lợi ích cho kinh tế - xã hội. Các quốc gia tiên phong trên thế giới đã bắt đầu xây dựng chính sách quản lý hiện tượng AE theo những cách tiếp cận khác nhau như Mỹ ưu tiên thúc đẩy đổi mới và giảm thiểu rào cản pháp lý, Liên minh Châu Âu (EU) ban hành luật AI chặt chẽ dựa trên phân loại mức độ rủi ro, Trung Quốc quản lý nghiêm ngặt các dịch vụ AI tạo sinh để bảo vệ lợi ích quốc gia và Singapore thử nghiệm cơ chế sandbox nhằm vừa khuyến khích sáng tạo vừa đảm bảo an toàn. Đối với Việt Nam, một quốc gia đang trong quá trình tăng tốc chuyển đổi số, việc chủ động nghiên cứu AE và xây dựng khung chính sách quản lý phù hợp có ý nghĩa cấp thiết. Bài viết này nhằm phân tích cơ sở lý luận về AE, đánh giá thực trạng chính sách tại một số quốc gia, từ đó rút ra bài học và đề xuất khung chính sách cho Việt Nam.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Bài nghiên cứu tổng hợp các tài liệu khoa học giai đoạn 2020–2025 và các văn bản chính sách cập nhật liên quan đến AE. Các trường hợp chính sách của Mỹ, EU, Trung Quốc và Singapore được chọn làm đối tượng so sánh đối chiếu do tính đại diện cho những cách tiếp cận quản lý khác nhau. Tiêu chí chọn lọc tài liệu dựa trên mức độ mới, độ tin cậy và sự liên quan trực tiếp đến chủ đề nghiên cứu. Trên cơ sở phân tích lý thuyết và bối cảnh Việt Nam, nghiên cứu đề xuất khung chính sách quản lý AE phù hợp với điều kiện trong nước, đảm bảo các khuyến nghị đưa ra có luận cứ khoa học vững chắc.

3. CƠ SỞ LÝ LUẬN VỀ AGENT ECONOMY VÀ CHÍNH SÁCH QUẢN LÝ

Agent Economy (AE) được hiểu là một hệ sinh thái kinh tế số mới, trong đó các “tác nhân” AI tự trị (autonomous AI agents) đại diện cho con người hoặc tổ chức để tương tác và giao dịch với nhau, thực hiện các hoạt động kinh tế một cách tự động. Khác với mô hình kinh tế số hiện nay dựa trên tương tác trực tiếp giữa người và hệ thống, AE hướng tới tự động hóa giao tiếp, tức là mỗi người dùng có thể có một trợ lý AI tác nhân riêng truyền đạt nhu cầu và thông tin của mình tới vô số dịch vụ, trong khi mỗi doanh nghiệp triển khai các tác nhân AI dịch vụ để tiếp nhận yêu cầu và phục vụ khách hàng [3][4]. Các tác nhân AI này đối thoại và thương lượng với nhau thay mặt cho người dùng và doanh nghiệp, giúp thu xếp giao dịch hiệu quả hơn cho các bên mà không cần tương tác thủ công lặp lại từ phía con người [3]. Về lý thuyết, điều này có thể tái cấu trúc cách thức vận hành của thị trường, làm giảm chi phí chuyển đổi nhà cung cấp, đồng thời thúc đẩy sự ra đời của những sản phẩm và mô hình kinh doanh hoàn toàn mới [3][4]. Nói cách khác, AE mở ra một mô hình kinh tế mới trong kỷ nguyên số với một “mạng lưới các tác nhân” hoạt động song song (và dần hòa nhập) với nền kinh tế do con người trực tiếp vận hành.

Trong mô hình AE, các tác nhân AI giữ vai trò trung tâm, được trang bị nhiều năng lực vượt trội so với các hệ thống phần mềm truyền thống. Theo Hosseini & Seilani (2025), Agentic AI hội tụ sáu đặc điểm chính: (i) **Tự chủ** là khả năng vận hành độc lập, tự đưa ra quyết định và hành động không cần đến chỉ thị trực tiếp từ con người [1]; (ii) **Hướng mục tiêu** là Agentic AI luôn theo đuổi mục tiêu xác định và tối ưu hóa hành động để đạt kết quả mong muốn; (iii) **Tương tác môi trường** là khả năng có thể quan sát, nhận thức và thích nghi với sự thay

đổi của môi trường xung quanh theo thời gian thực; (iv) **Khả năng học hỏi** là Agentic AI tự cải thiện hiệu suất qua thời gian nhờ học máy, rút kinh nghiệm từ dữ liệu và phân hồi để ra quyết định ngày càng tốt hơn; (v) **Tối ưu quy trình** là khả năng tích hợp các kỹ năng ngôn ngữ, lập luận, lập kế hoạch và ra quyết định nhằm tự động hóa và phối hợp hiệu quả các quy trình công việc phức tạp; và (vi) **Hệ đa tác tử** là khả năng giao tiếp, hợp tác với các tác nhân AI khác. Nhờ các năng lực này, mỗi tác nhân AI có thể đảm nhận nhiều vai trò khác nhau trong nền kinh tế: từ trợ lý cá nhân đến điều phối chuỗi cung ứng, giao dịch tài chính tự động, dịch vụ khách hàng, hỗ trợ giáo dục, y tế và thậm chí tác nhân chính phủ điện tử giúp xử lý thủ tục cho người dân. Nhờ đó, AE tạo ra một mức độ phân công lao động mới, khi các tác nhân AI có thể được coi là “lao động số”, thực hiện độc lập nhiều công việc trí óc mà trước đây do con người đảm nhiệm [1].

Lợi ích và rủi ro kinh tế - xã hội của AE: Về lợi ích, AE được kỳ vọng sẽ nâng cao hiệu quả hoạt động thị trường thông qua việc giảm chi phí giao dịch và chi phí thông tin giữa các chủ thể kinh tế [1]. Người tiêu dùng có thể dễ dàng tìm được sản phẩm hoặc dịch vụ phù hợp với nhu cầu nhờ tác nhân AI sàng lọc vô số lựa chọn, vượt qua giới hạn về thời gian và khả năng tìm kiếm của con người. Doanh nghiệp cũng có thể tiếp cận lượng khách hàng lớn thông qua mạng lưới tác nhân, giảm sự phụ thuộc vào quảng cáo trả phí theo mô hình “nền kinh tế chú ý” hiện nay. Sự phổ biến của tác nhân AI có thể thúc đẩy mô hình giao dịch vi mô phát triển khi các tác vụ mua bán được tự động hóa hoàn toàn, ví dụ người dùng chỉ trả phí cho từng nội dung số như bài hát, bài báo,... mà tác nhân của họ truy cập, thay vì đăng ký thuê bao trọn gói, đồng thời, tác nhân AI có khả năng tạo ra sản phẩm cá nhân hóa cao. Tóm lại, AE có tiềm năng thúc đẩy đổi mới mô hình kinh doanh, gia tăng trải nghiệm cá

nhân hóa cho khách hàng, đồng thời phân phối lại giá trị giữa các tác nhân tham gia chuỗi cung ứng số [3][4].

Tuy nhiên, đi kèm lợi ích là *những rủi ro và thách thức mới*. **Thứ nhất**, rủi ro hệ thống: khi các tác nhân AI được kết nối rộng khắp trong một “mạng lưới tác nhân mở”, những bất ổn hoặc hành vi sai lệch của một nhóm tác nhân có thể nhanh chóng lan truyền và gây hiệu ứng dây chuyền lên toàn hệ thống kinh tế số. Khác với môi trường thử nghiệm khép kín, một AE thẩm thấu vào nền kinh tế thực sẽ khó cô lập hoàn toàn các sự cố kỹ thuật trước khi chúng ảnh hưởng đến con người, ví dụ một đợt bán tháo tự động do tác nhân giao dịch lỗi có thể gây sụp đổ thị trường tài chính trước khi con người kịp can thiệp. **Thứ hai**, vấn đề an ninh, an toàn: tác nhân AI có thể bị lợi dụng bởi các đối tượng xấu như hacker, tội phạm mạng để tự động tạo ra thông tin sai lệch hoặc tấn công mạng trên quy mô lớn. Việc tác nhân AI tương tác trực tiếp với con người đòi hỏi phải có cơ chế đảm bảo chúng tuân thủ các tiêu chuẩn đạo đức, không đưa ra quyết định gây hại hay phân biệt đối xử. **Thứ ba**, sự riêng tư của dữ liệu người dùng: để hoạt động hiệu quả, tác nhân AI cần truy cập lượng lớn dữ liệu cá nhân của người dùng, làm dấy lên lo ngại về quyền riêng tư và nguy cơ lạm dụng dữ liệu. Nếu không có khung pháp lý rõ ràng, các tác nhân có thể thu thập, chia sẻ thông tin nhạy cảm của người dùng mà họ không hề hay biết. **Thứ tư**, tác động đến thị trường lao động: khi AE phát triển, một phần công việc trí óc sẽ được tự động hóa bởi những “lao động số” này. Mặc dù về dài hạn, công nghệ mới thường tạo thêm việc làm ở các lĩnh vực khác nhưng trong ngắn hạn có thể xảy ra nguy cơ nguy cơ thất nghiệp nếu lực lượng lao động không kịp thích nghi [1]. Điều này đòi hỏi phải có chiến lược chủ động đào tạo, nâng cao kỹ năng cho người lao động để họ chuyển sang các vai trò hỗ trợ cho AI thay vì bị thay thế. **Thứ năm**, trách nhiệm và pháp

lý: trong AE, khi một tác nhân AI gây thiệt hại như tư vấn sai dẫn đến tổn thất tài chính, hoặc lỗi của phương tiện tự lái gây tai nạn, việc xác định ai chịu trách nhiệm pháp lý trở nên phức tạp hơn, là người dùng, nhà phát triển, hay chính tác nhân AI phải chịu trách nhiệm. Trách nhiệm giải trình của các hệ thống AI tự trị do đó là nội dung trọng tâm cần được chú ý trong chính sách quản lý.

Trước những lợi ích và rủi ro nói trên, các nhà nghiên cứu đã đề xuất áp dụng cách tiếp cận chủ động và linh hoạt trong quản lý AE. Một phương án được đề xuất nhiều là xây dựng “sandbox kinh tế tác nhân”, đây là môi trường kiểm soát để tác nhân AI vận hành thử nghiệm, nhằm quan sát ảnh hưởng của chúng trước khi tích hợp vào nền kinh tế thực [5]. Hiện tại, xu hướng công nghệ cho thấy AE đang hình thành một cách tự phát, các tác nhân AI dần tham gia trực tiếp vào nền kinh tế con người mà không trải qua giai đoạn thử nghiệm biệt lập rõ rệt. Thực tế này đặt ra thách thức lớn cho nhà quản lý phải nhanh chóng thiết kế khung quy định và cơ chế hướng dẫn hành vi tác nhân kịp thời trước khi hệ thống vượt khỏi tầm kiểm soát [2]. Nhiều nhà nghiên cứu và chuyên gia đã nhấn mạnh tính cấp thiết của việc xây dựng kiến trúc thị trường cho tác nhân AI ngay từ bây giờ, khi mà những lựa chọn chính sách ở hiện tại sẽ quyết định cấu trúc thị trường và ai sẽ hưởng lợi trong làn sóng công nghệ mới [3].

Tóm lại, cơ sở lý luận cho thấy AE có tiềm năng chuyển đổi sâu sắc nền kinh tế số, nhưng đi kèm những rủi ro đòi hỏi cách tiếp cận quản lý mới. Để quản lý AE một cách hiệu quả, cần kết hợp đồng bộ giữa biện pháp kỹ thuật và chính sách. Các nhà nghiên cứu gợi ý phát triển các tiêu chuẩn mở để các tác nhân AI tương tác an toàn, xây dựng hạ tầng xác thực và hệ thống tín nhiệm (ví dụ cơ chế chứng chỉ cho tác nhân) song song với các công cụ kinh tế và pháp lý (cơ chế khuyến khích hành vi an toàn, quy định trách nhiệm

rõ ràng) ngay từ khâu thiết kế hệ thống. Mục tiêu là tạo ra một AE “trong tầm kiểm soát”: vừa phát huy tối đa lợi ích tự động hóa, vừa đảm bảo an toàn, minh bạch và phục vụ lợi ích chung của xã hội

4. CHÍNH SÁCH QUẢN LÝ AE TẠI MỘT SỐ NƯỚC TRÊN THẾ GIỚI

Mặc dù AE còn ở giai đoạn đầu phát triển nhưng nhiều quốc gia trên thế giới đã sớm ý thức và đề cập hiện tượng này thông qua khung quản trị AI chung, cũng như thử nghiệm những chính sách điều phối tác nhân AI. Nghiên cứu tổng hợp một số cách tiếp cận của Mỹ, EU, Trung Quốc và Singapore là những đại diện tiêu biểu cho các mô hình quản lý AE khác nhau, qua đó rút ra kinh nghiệm với Việt Nam.

Hiện Mỹ chưa có luật liên bang toàn diện dành riêng cho AI, Mỹ chủ yếu là khuyến khích đổi mới và hạn chế can thiệp sớm. Chính quyền liên bang nhấn mạnh mục tiêu duy trì vị thế dẫn đầu về AI, coi AI là động lực tăng trưởng kinh tế và an ninh quốc gia. Năm 2025 Nhà Trắng ban hành Chiến lược AI Quốc gia tập trung 3 trụ cột: đổi mới, hạ tầng, ngoại giao và ký sắc lệnh gỡ bỏ một số quy định bị cho là cản trở sáng tạo. Thay vì xây dựng luật AI mới, Mỹ chủ trương sử dụng các hướng dẫn và khung tiêu chuẩn tự nguyện do chính phủ hoặc tổ chức chuyên môn ban hành, ví dụ Khung quản lý rủi ro AI của NIST và tận dụng luật hiện hành như FTC, EEOC, v.v. giám sát hành vi cạnh tranh, phân biệt đối xử để quản lý AI. Các bang cũng ban hành nhiều luật liên quan đến AI, tạo nên bức tranh quy định chắp vá [11]. Về khía cạnh AE, Mỹ chưa có chính sách riêng; các tập đoàn công nghệ tự xây dựng quy tắc an toàn cho tác nhân AI và chính phủ đưa ra hướng dẫn sử dụng AI có trách nhiệm trong khu vực công. Mô hình của Mỹ thiên về tự quản lý với can thiệp tối thiểu – giúp thúc đẩy đổi mới nhanh và thu hút

đầu tư, nhưng tạo khoảng trống quản lý khi an toàn/đạo đức của tác nhân phần lớn phụ thuộc vào tự giác doanh nghiệp.

EU đi theo hướng quy định chặt chẽ dựa trên đánh giá rủi ro ngay từ sớm, nhằm định hướng phát triển AI một cách đáng tin cậy, lấy con người làm trung tâm. EU ban hành Đạo luật AI năm 2024 [6], đây là khung pháp lý toàn diện đầu tiên trên thế giới về AI. Đạo luật AI phân loại các hệ thống AI theo bốn mức độ rủi ro đối với an toàn, quyền lợi con người như: rủi ro tối thiểu là được tự do phát triển, khuyến khích tuân thủ tự nguyện tiêu chuẩn; rủi ro hạn chế yêu cầu phải có minh bạch cho người dùng, ví dụ chatbot phải tiết lộ “Tôi không phải người thật”; rủi ro cao bắt buộc phải tuân thủ hàng loạt yêu cầu nghiêm ngặt về quản trị rủi ro, quản lý dữ liệu, giám sát con người, độ chính xác, an toàn... và đăng ký với cơ quan chức năng trước khi đưa ra thị trường và rủi ro không chấp nhận là bị cấm hoàn toàn, như AI dùng cho hệ thống tín dụng xã hội, nhận diện gương mặt thời gian thực nơi công cộng phục vụ thực thi pháp luật [6]. Đạo luật cũng áp trách nhiệm xuyên suốt chuỗi giá trị AI, từ bên phát triển mô hình đến đơn vị triển khai và được xây dựng trên bốn trụ cột: quản trị rủi ro liên tục, minh bạch, độ tin cậy kỹ thuật và giám sát con người [6]. EU sẽ thành lập Ủy ban và Văn phòng AI châu Âu để điều phối thực thi luật [6]; các nước thành viên có thể ban hành luật bổ sung phù hợp bối cảnh, ví dụ Ý năm 2025 ban hành luật cấm nghiêm hành vi phát tán deepfake ác ý. Cách tiếp cận thận trọng của EU đặt AI và AE vào khuôn khổ pháp lý ngay từ đầu, ưu tiên kiểm soát rủi ro và bảo vệ giá trị nhân đạo. Cách làm này định hình chuẩn mực “AI đáng tin cậy” trên thế giới nhưng cũng khiến doanh nghiệp AI chịu chi phí tuân thủ cao và thủ tục phức tạp, có nguy cơ làm chậm triển khai tác nhân AI ở châu Âu.

Trung Quốc quản lý AI nói chung và AE

nói riêng trong khuôn khổ ưu tiên an ninh chính trị và trật tự xã hội. Tháng 8/2023, Trung Quốc ban hành “Biện pháp Quản lý dịch vụ AI tạo sinh”, đây là văn bản pháp quy cấp quốc gia đầu tiên trên thế giới chuyên về quản lý AI tạo sinh [9] có hiệu lực từ 15/8/2023, áp dụng cho mọi dịch vụ sử dụng công nghệ AI tạo sinh cung cấp cho công chúng. Mục tiêu được nêu là “thúc đẩy phát triển lành mạnh và ứng dụng có trật tự của AI tạo sinh, bảo vệ an ninh quốc gia và lợi ích công cộng, đồng thời bảo vệ quyền và lợi ích hợp pháp của công dân và tổ chức”, nó thể hiện rõ định hướng quản lý AI phục vụ ổn định chính trị, xã hội [9]. Cách tiếp cận của Trung Quốc mang tính “quản lý phân cấp, phân loại”, cụ thể chính phủ giám sát AI dựa trên phân loại mức độ quan trọng và mục đích sử dụng, nhưng không công bố cụ thể thang phân loại như EU. Tuy nhiên, có thể thấy những dịch vụ AI tạo sinh có “thuộc tính dư luận hoặc khả năng huy động xã hội” sẽ chịu giám sát nghiêm ngặt hơn, ví dụ các chatbot có thể tương tác với lượng lớn người dùng sẽ bị kiểm soát chặt về nội dung. Văn bản quy định một loạt yêu cầu tuân thủ đối với nhà cung cấp dịch vụ AI tạo sinh như [9]: Sử dụng dữ liệu hợp pháp, tôn trọng sở hữu trí tuệ; Không thiên lệch hoặc phân biệt đối xử; Đảm bảo chất lượng và tính chính xác; Bảo vệ trẻ vị thành niên; An ninh và kiểm duyệt nội dung; Đăng ký và đánh giá an ninh. Đồng thời, các dịch vụ AI phải trải qua đánh giá an ninh trước khi ra mắt, tương tự yêu cầu đối với dịch vụ Internet theo Luật An ninh mạng. Tháng 11/2025, Trung Quốc ban hành thêm 3 tiêu chuẩn quốc gia về bảo mật và quản trị AI tạo sinh, nhằm cụ thể hóa các yêu cầu kỹ thuật đối với mô hình AI như tiêu chuẩn về quản lý truy xuất dữ liệu huấn luyện, đánh giá độ an toàn của mô hình AI. Có thể thấy Trung Quốc đang xây dựng khung quản lý AE theo hướng bảo hộ và chủ quyền, Nhà

nước kiểm soát chặt chẽ sự phát triển của tác nhân AI, định hướng chúng phục vụ các mục tiêu quốc gia, đồng thời đầu tư mạnh mẽ để tự chủ công nghệ nhằm tránh phụ thuộc nước ngoài. Chính phủ Trung Quốc khuyến khích doanh nghiệp và địa phương thử nghiệm AI trong các sandbox có kiểm soát, ví dụ Thâm Quyển triển khai khu thử nghiệm xe tự lái, Bắc Kinh lập Khu thí điểm chính sách AI nhưng luôn kèm giám sát an ninh. Ưu điểm cách làm của Trung Quốc là tạo hàng rào chắn ngay từ đầu ngăn chặn tác hại của tác nhân AI như tin giả, bất ổn xã hội từ đó bảo vệ các giá trị văn hóa - chính trị nội địa; nhược điểm là môi trường đổi mới có thể bị gò bó, doanh nghiệp nhỏ khó khăn trong việc tuân thủ quy định phức tạp và người dùng ít được tiếp cận các dịch vụ AI tiên tiến toàn cầu do rào cản kiểm duyệt.

Singapore được coi là hình mẫu về cách tiếp cận cân bằng giữa đổi mới và quản trị rủi ro trong kỷ nguyên AI. Singapore sớm xây dựng các khung hướng dẫn đạo đức AI dưới dạng mềm dẻo để doanh nghiệp “làm đúng ngay từ đầu”. Năm 2019, Singapore ban hành Mô hình Quản trị AI hướng dẫn chi tiết giúp doanh nghiệp tích hợp các nguyên tắc AI có trách nhiệm như minh bạch, công bằng, đảm bảo quyền riêng tư và có thể giải thích trong vòng đời dự án AI và phát triển AI Verify, bộ công cụ đánh giá kỹ thuật giúp kiểm chứng một hệ thống AI có đáp ứng các tiêu chí AI đáng tin cậy hay không. Về luật pháp, Singapore chưa có luật riêng về AI, nhưng các quy định ngành hiện hành có thể bao quát rủi ro AI như quy tắc quản lý rủi ro công nghệ tài chính, Luật An ninh mạng, Luật Bảo vệ Dữ liệu Cá nhân [9]. Thay vì áp đặt quy định cứng sớm như EU, Singapore chọn cách thí điểm linh hoạt. Năm 2022, chính phủ ra mắt AI Governance Testing Framework và chương trình AI Regulatory Sandbox, cho phép doanh nghiệp thử nghiệm giải pháp AI trong

phạm vi giới hạn dưới sự giám sát của cơ quan quản lý. Đến tháng 7/2025, Singapore tiếp tục mở rộng nỗ lực này thông qua việc công bố “Global AI Assurance Sandbox” phiên bản mới, với trọng tâm bao gồm cả các hệ thống Agentic AI tiên tiến [7]. Theo Cơ quan Phát triển Truyền thông Infocomm (IMDA), sandbox mở rộng cho phép nhiều công ty trong và ngoài nước tham gia kiểm thử các ứng dụng AI gắn với thực tiễn để đánh giá rủi ro và hiệu quả trước khi triển khai rộng rãi [7]. Sandbox mới bổ sung các kịch bản mới như tác nhân AI tự trị và rủi ro mới nổi như nguy cơ rò rỉ dữ liệu hoặc tấn công prompt injection đối với mô hình ngôn ngữ lớn [7]. Các cơ quan quản lý chuyên ngành ở Singapore cũng được mời tham gia sandbox nhằm cùng phát triển và kiểm chứng các hướng dẫn quản trị AI trong lĩnh vực của họ [7]. Song song với sandbox, Singapore ban hành Bộ công cụ Thử nghiệm An toàn LLM (LLM Safety Testing Starter Kit, 2025) cung cấp quy trình tiêu chuẩn để các bên thử nghiệm mức độ an toàn của ứng dụng AI dựa trên mô hình ngôn ngữ lớn [7]. Cách làm này thể hiện quan điểm “thực dụng, dựa trên rủi ro” của Singapore, cho phép đổi mới diễn ra trong môi trường được kiểm soát, thu thập thông tin thực tế để định hình chính sách, vừa tận dụng tối đa cơ hội AI vừa dựng sẵn “hành lang bảo vệ” nhằm xây dựng lòng tin của công chúng [7]. Bên cạnh AI sandbox, Singapore cũng rất chú trọng bảo vệ dữ liệu và quyền riêng tư, nền tảng của một nền kinh tế số đáng tin cậy. Năm 2020, Singapore sửa đổi Luật Bảo vệ Dữ liệu Cá nhân để tăng chế tài vi phạm và bổ sung yêu cầu chặt chẽ hơn về xử lý dữ liệu. Tháng 7/2025, Singapore nâng chuẩn bảo vệ dữ liệu lên tầm cao mới: chuẩn hóa Chương trình Chứng nhận Tín nhiệm Bảo vệ Dữ liệu thành Tiêu chuẩn quốc gia, khuyến khích doanh nghiệp đạt chứng nhận bảo vệ dữ liệu ở mức tương đương tiêu chuẩn quốc tế [9]. Tất cả các nỗ lực trên cho

thấy Singapore xây dựng một hệ sinh thái chính sách khá toàn diện: vừa tạo không gian sandbox cho doanh nghiệp thử nghiệm và tinh chỉnh giải pháp AI, đặc biệt chú ý tác nhân AI, vừa hoàn thiện hạ tầng pháp lý về dữ liệu và an toàn làm hậu thuẫn cho triển khai AI một cách có trách nhiệm. Cách tiếp cận của Singapore phản ánh đặc thù quốc gia nhỏ, nguồn lực hạn chế: họ dựa nhiều vào hướng dẫn mềm dẻo và chứng nhận tiêu chuẩn để định hướng thị trường thay vì ban hành quá nhiều luật cứng; đồng thời chủ

động tham gia định hình chuẩn mực quốc tế như thúc đẩy thảo luận về quản trị AI trong ASEAN, hợp tác cùng OECD, WEF. Nhờ đó, Singapore duy trì được hình ảnh môi trường AI đổi mới có trách nhiệm, thu hút đầu tư quốc tế mà vẫn giữ được niềm tin của người dân đối với công nghệ mới.

Để làm rõ sự khác biệt giữa các quốc gia, Bảng 1 dưới đây tóm tắt so sánh sơ lược cách tiếp cận chính sách AE (hoặc quản trị AI có liên quan) tại Mỹ, EU, Trung Quốc và Singapore:

Bảng 1. So sánh cách tiếp cận chính sách quản lý AI/AE ở một số quốc gia

Quốc gia/ Khô	Cách tiếp cận quản lý AI	Chính sách và sáng kiến
Mỹ	Thị trường dẫn dắt, can thiệp tối thiểu. Ưu tiên duy trì vị thế dẫn đầu AI, gỡ bỏ rào cản để thúc đẩy đổi mới. Sử dụng luật hiện hành & hướng dẫn tự nguyện thay vì luật mới.	- Chiến lược AI quốc gia 2025 với 90 hành động (3 trụ cột: Đổi mới, Hạ tầng, Ngoại giao) [11]. - Sắc lệnh 2025 “Removing Barriers to American Leadership in AI” - Khung quản lý rủi ro AI hướng dẫn tự nguyện cho doanh nghiệp - Nhiều luật tiểu bang về AI về tuyển dụng, tài chính, minh bạch thuật toán... [11]. - Chưa có quy định riêng cho AE; tập trung khuyến khích doanh nghiệp tự quản lý AI có trách nhiệm.
Liên minh Châu Âu	Quy định toàn diện dựa trên đánh giá rủi ro. Đặt ra chuẩn mực pháp lý chi tiết để đảm bảo AI an toàn, nhân văn. Cập nhật hướng dẫn để bao quát công nghệ mới.	- Đạo luật AI của EU (2024): phân loại AI theo 4 mức rủi ro; yêu cầu nghiêm ngặt với hệ thống rủi ro cao; cấm một số ứng dụng không chấp nhận [6]. - Yêu cầu minh bạch & giám sát con người: bắt buộc gắn nhãn nội dung AI tạo ra, đảm bảo con người chịu trách nhiệm cuối [8]. - Đối với tác nhân AI: áp dụng quy định cho GPAI (AI đa dụng) và quy tắc hệ thống rủi ro cao tương ứng [6]; đang phát triển tiêu chuẩn kỹ thuật và hướng dẫn bổ sung chuyên biệt. - Cơ quan thực thi mới: thành lập Ủy ban và Văn phòng AI châu Âu để giám sát tuân thủ trên toàn khối [6]. - Phối hợp khối: khuyến khích các nước thành viên xây dựng chiến lược AI quốc gia; ví dụ Ý có luật AI 2025 bổ sung xử lý deepfake.
Trung Quốc	Quản lý tập trung, ưu tiên an ninh & kiểm soát. Ban hành nhanh quy định cụ thể để kiểm soát nội dung AI và định hướng AI phục vụ lợi ích nhà nước. Yêu cầu đăng ký, kiểm duyệt chặt chẽ các dịch vụ AI công cộng.	- Biện pháp quản lý AI tạo sinh (2023): quy định toàn diện đầu tiên về dịch vụ GenAI (hiệu lực 8/2023) [9]; yêu cầu kiểm duyệt đầu ra, chống thông tin “bất lợi” và tuân thủ giá trị XHCN. - Yêu cầu bắt buộc: đăng ký thuật toán với CAC, đánh giá an ninh trước triển khai; gắn nhãn deepfake; cấm dùng dữ liệu bất hợp pháp; ngăn thiên lệch và nội dung độc hại [9]. - Chế tài mạnh: vi phạm có thể phạt, đình chỉ dịch vụ hoặc truy cứu hình sự [9]. - Hệ sinh thái quy định hỗ trợ: Quy định thuật toán cá nhân hóa (2022), Quy định deepfake (2023); Hướng dẫn đạo đức công nghệ (2023); Tiêu chuẩn quốc gia về AI (2025). -Thử nghiệm hạn chế: thiết lập các khu sandbox AI có giám sát (ví dụ: khu thí điểm AI ở Bắc Kinh, Thâm Quyển) để thử nghiệm công nghệ dưới sự kiểm soát liên ngành.

Quốc gia/ Khô	Cách tiếp cận quản lý AI	Chính sách và sáng kiến
Singapore	Thực dụng, cân bằng đổi mới và an toàn. Đưa ra khung đạo đức mềm dẻo, khuyến khích tuân thủ tự nguyện; đồng thời dùng sandbox và chứng nhận để quản lý theo rủi ro. Tăng cường nền tảng pháp lý về bảo vệ dữ liệu và xây dựng lòng tin.	- Mô hình Quản trị AI (2019) & AI Verify: hướng dẫn tự nguyện, công cụ kỹ thuật giúp doanh nghiệp phát triển AI có trách nhiệm. - AI Regulatory Sandbox: thí điểm 2022, mở rộng 2025 thành Global AI Assurance Sandbox - môi trường thử nghiệm thực tế cho tác nhân AI và kiểm định hướng dẫn quản trị mới [7]. Mở cho cả cơ quan nhà nước và quốc tế tham gia phản hồi chính sách [7]. - Starter Kit thử nghiệm an toàn LLM (2025): bộ công cụ chuẩn giúp kiểm tra an toàn cho ứng dụng AI dựa trên mô hình ngôn ngữ lớn [7]. - Khung pháp lý dữ liệu mạnh: Luật PDPA (sửa 2020) và chứng nhận DPTM (2025) nâng cao tiêu chuẩn bảo vệ dữ liệu cá nhân [9]. Xuất bản Hướng dẫn PETs (2025) để ứng dụng công nghệ bảo vệ riêng tư trong AI [9]. - Hợp tác quốc tế: Singapore tích cực tham gia xây dựng tiêu chuẩn AI toàn cầu, dẫn dắt đối thoại ASEAN về AI.

5. DỰ BÁO TÁC ĐỘNG CỦA AE ĐỐI VỚI VIỆT NAM

Mặc dù Việt Nam hiện nay chưa xuất hiện rõ nét một hệ sinh thái AE, tuy nhiên các xu hướng công nghệ toàn cầu cho thấy sự chuyển đổi này sớm sẽ tác động sâu rộng đến kinh tế - xã hội nước ta. Việc chủ động đánh giá các cơ hội và thách thức từ AE sẽ giúp Việt Nam chuẩn bị hành lang chính sách phù hợp, tận dụng tốt lợi ích đồng thời giảm thiểu rủi ro.

Cơ hội cho phát triển kinh tế - xã hội. : AE có thể trở thành bệ phóng mới cho tăng trưởng kinh tế số Việt Nam. Nhờ tự động hóa giao dịch và quy trình, các tác nhân AI có thể giúp doanh nghiệp Việt nâng cao năng suất, hiệu quả vận hành. Ví dụ, doanh nghiệp vừa và nhỏ có thể sử dụng trợ lý AI để tự động hóa khâu marketing, bán hàng trực tuyến như chatbot tư vấn khách hàng, tác nhân phân tích dữ liệu thị trường mà không cần thuê nhiều nhân viên, giúp giảm chi phí và mở rộng quy mô kinh doanh. Đối với người tiêu dùng: trợ lý AI cá nhân giúp họ sàng lọc và đàm phán với hàng loạt tác nhân doanh nghiệp để đề xuất dịch vụ tối ưu, giúp họ dễ dàng tiếp cận dịch vụ chất lượng với chi phí thấp hơn. Ở tầm vĩ mô, AE có thể đẩy nhanh chuyển đổi số các ngành. Trong chính phủ điện tử, các tác nhân AI có thể đảm nhiệm vai trò “công chức số”

hỗ trợ xử lý thủ tục hành chính, trả lời câu hỏi cho người dân, giám sát chất lượng dịch vụ công, điều này là hữu ích khi Việt Nam đang nỗ lực cải thiện dịch vụ công, bởi tác nhân AI hoạt động 24/7, giúp giảm tải bộ máy và nâng cao mức độ hài lòng của người dân. Tác nhân AI còn thúc đẩy đổi mới sáng tạo: nhà nghiên cứu, kỹ sư có thể tận dụng tác nhân AI làm cộng sự để mô phỏng thí nghiệm, tổng hợp tài liệu, thiết kế sản phẩm mẫu, rút ngắn thời gian R&D trong các lĩnh vực như dược phẩm, kỹ thuật. Nhìn chung, nếu được khai thác đúng cách, AE sẽ góp phần hiện thực hóa mục tiêu kép của Việt Nam: vừa tăng năng suất lao động, vừa nâng cao năng lực đổi mới sáng tạo, hướng tới nền kinh tế số có giá trị gia tăng cao.

Một khía cạnh quan trọng khác là AE có thể giúp Việt Nam hội nhập sâu hơn vào kinh tế số toàn cầu. Hiện nay, các doanh nghiệp công nghệ Việt còn hạn chế nguồn lực so với tập đoàn lớn thế giới, nên khó cạnh tranh ở mảng dịch vụ nền tảng. Tuy nhiên, với sự phổ cập của các chuẩn mở cho tác nhân AI như giao thức Agent-to-Agent (A2A), các công ty của Việt Nam có thể phát triển dịch vụ chuyên biệt nhưng vẫn tham gia được mạng lưới tác nhân toàn cầu. Ví dụ, một startup Việt có thể tạo tác nhân AI cung cấp dịch vụ du lịch thông minh như tư vấn tour, đặt vé máy bay, khách sạn, kết nối qua A2A

với hàng nghìn trợ lý AI của khách hàng quốc tế. Như vậy, doanh nghiệp Việt vẫn tiếp cận thị trường rộng lớn mà không cần phát triển ứng dụng riêng cho từng người dùng. Cơ hội khác là thu hẹp khoảng cách dịch vụ giữa đô thị và nông thôn: tác nhân AI có thể mang dịch vụ chuyên gia đến vùng sâu vùng xa như bác sĩ AI tư vấn sức khỏe cơ bản, giáo viên AI dạy ngoại ngữ, giúp giảm bất bình đẳng trong tiếp cận tri thức và dịch vụ. Ngoài ra, Việt Nam có cơ hội thu hút đầu tư nước ngoài vào các dự án AE. Các tập đoàn công nghệ có thể chọn Việt Nam làm nơi thí điểm triển khai tác nhân AI trong khu vực ASEAN, qua đó tạo việc làm trình độ cao và chuyển giao công nghệ cho nguồn nhân lực nội địa.

Thách thức và rủi ro: Bên cạnh cơ hội, Việt Nam sẽ đối mặt nhiều thách thức khi AE dần định hình trên thế giới và có thể du nhập vào trong nước.

Đầu tiên là khoảng trống pháp lý, Việt Nam chưa có văn bản pháp luật chuyên biệt về AI, một số quy định hiện hành có thể áp dụng phần nào, như Luật An ninh mạng 2018 có điều khoản xử lý thông tin sai lệch; Nghị định 13/2023 về bảo vệ dữ liệu cá nhân, nhưng chưa đủ một khung toàn diện cho những vấn đề đặc thù của tác nhân AI như trách nhiệm pháp lý, an toàn của hệ thống tự động, hay quyền và nghĩa vụ của các bên khi sử dụng AI. Nếu không sớm xây dựng khuôn khổ pháp lý rõ ràng, chúng ta có nguy cơ bị động trước các tình huống phát sinh: chẳng hạn, nếu một chatbot tự động gây hiểu lầm nghiêm trọng dẫn đến hậu quả xấu, hiện chưa có cơ chế quy trách nhiệm dứt khoát hay chế tài phù hợp. Ngày 14/6/2025, Quốc hội khóa XV, Kỳ họp thứ 9 đã thông qua Luật Công nghiệp công nghệ số 2025 (Luật số 71/2025/QH15), có hiệu lực từ ngày 01/01/2026. [12]. Luật này tạo khung pháp lý nền tảng cho nghiên cứu, phát triển, cung cấp và sử dụng AI - trong đó có nguyên tắc giữ con người ở vị trí ra quyết định cuối cùng và quản lý AI theo cách tiếp

cận phân loại rủi ro tương tự EU [8]. Tuy vậy, thách thức sẽ nằm ở khâu thực thi: làm sao để các quy định không chỉ nằm trên giấy mà được tuân thủ nghiêm trong thực tế. Việt Nam có thể phải đối mặt hiện tượng “vùng xám pháp lý” khi công nghệ chạy trước luật pháp, gây khó khăn cho việc xử lý.

Thứ hai là năng lực quản trị và điều phối. AE có tính liên ngành rất cao, là sự giao thoa của công nghệ thông tin, kinh tế, pháp luật, an ninh..., điều này đòi hỏi bộ máy quản lý đủ năng lực và cơ chế phối hợp hiệu quả. Hiện nay, các cơ quan quản lý nhà nước của ta còn thiếu nhân sự am hiểu sâu về AI, các đầu mối phụ trách AI phân tán ở nhiều bộ ngành khác nhau, dẫn đến nguy cơ chồng chéo hoặc bỏ sót trách nhiệm. Nếu không thiết lập một đầu mối điều phối thống nhất ở tầm quốc gia và nâng cao năng lực quản trị AI, Việt Nam khó theo kịp diễn biến Agent Economy và phản ứng chính sách kịp thời. Ngoài ra, hạ tầng kỹ thuật phục vụ phát triển và kiểm soát AI tại Việt Nam còn hạn chế như năng lực tính toán, dữ liệu dùng huấn luyện mô hình lớn. Điều này có thể khiến Việt Nam phụ thuộc công nghệ nước ngoài và thụ động trong quản lý, giám sát tác nhân AI ngoại nhập.

Thứ ba, AE cũng đặt ra nguy cơ biến động thị trường lao động ở Việt Nam. Nhiều việc làm tại Việt Nam, nhất là trong các ngành dịch vụ hay văn phòng có thể bị tác nhân AI thay thế một phần, đặc biệt là lực lượng lao động trình độ thấp hoặc kỹ năng lặp lại sẽ chịu ảnh hưởng trước. Nếu không có chính sách hỗ trợ đào tạo lại và chuyển đổi việc làm, tình trạng thất nghiệp cơ cấu ngắn hạn có thể gia tăng, kéo theo hệ lụy xã hội như bất bình đẳng thu nhập, gánh nặng an sinh xã hội. Mặt khác, doanh nghiệp Việt Nam đa phần quy mô vừa và nhỏ, năng lực tài chính, công nghệ hạn chế nên có thể bị tụt hậu trong cuộc đua AE, nhường thị phần cho các tác nhân, dịch vụ ngoại nhập. Người tiêu dùng Việt cũng có nguy cơ phụ thuộc vào tác nhân AI nước ngoài nếu doanh nghiệp

nội không cung cấp được dịch vụ tương tự, điều này tiềm ẩn rủi ro về chủ quyền số và an ninh dữ liệu.

Cuối cùng, nhận thức xã hội về tác nhân AI ở Việt Nam còn chưa cao, nhiều người dùng có thể không biết mình đang tương tác với AI hay hiểu rõ quyền lợi, rủi ro liên quan. Điều này đòi hỏi nỗ lực lớn về tuyên truyền, giáo dục để người dân chuẩn bị tâm thế và kỹ năng cho kỷ nguyên mới.

Tóm lại, AE có thể mang đến cơ hội nâng tầm kinh tế số Việt Nam nhưng cũng đặt ra bài toán quản lý phức tạp. Cần nhận diện đầy đủ các thách thức trên cả phương diện pháp lý, quản trị nhà nước, kinh tế và xã hội để có giải pháp chủ động ứng phó.

6. BÀI HỌC KINH NGHIỆM

Kinh nghiệm của các quốc gia trên đem lại những bài học quý giá cho Việt Nam trong định hướng xây dựng chính sách quản lý AE. Mỗi mô hình đều có điểm mạnh và hạn chế riêng, song tựu chung có thể rút ra một số bài học chung như sau:

Thứ nhất, cần sớm xây dựng chiến lược và khung pháp lý về AI với tầm nhìn dài hạn. Kinh nghiệm EU và Trung Quốc cho thấy việc ban hành luật AI chuyên biệt giúp định hình hành lang an toàn ngay từ đầu. Dù cách tiếp cận khác nhau, cả hai đều nhất quán nguyên tắc con người kiểm soát cuối cùng. Việt Nam cần cập nhật Chiến lược quốc gia về AI để bổ sung định hướng về AE, không để bị chậm chân.

Thứ hai, thiết lập cơ chế điều phối liên ngành và nâng cao năng lực quản trị AI. Việt Nam nên thành lập cơ quan về AI và Chuyển đổi số với sự tham gia của lãnh đạo Chính phủ, các bộ ngành chủ chốt và chuyên gia.

Thứ ba, tập trung phát triển hạ tầng số và dữ liệu phục vụ AI và AE. Việt Nam cần tăng tốc triển khai các dự án hạ tầng số như xây dựng trung tâm tính toán hiệu năng cao quốc gia phục vụ nghiên cứu và phát triển AI.

Thứ tư, đảm bảo an toàn, an ninh và đạo

đức trong môi trường AE. Đây là trụ cột sống còn để tạo lòng tin xã hội khi triển khai tác nhân AI, bài học từ Trung Quốc cho thấy cần có cơ chế ngắt kết nối khẩn cấp, cơ quan chức năng được quyền tạm dừng hoạt động của một nhóm tác nhân AI hoặc ngắt kết nối Internet của chúng nếu phát hiện hành vi bất thường nguy hiểm, tương tự cơ chế dừng khẩn cấp sản phẩm chứng khoán khi xảy ra sự cố lớn. Việt Nam có thể đưa nguyên tắc này vào luật AI hoặc quy định dưới luật để có căn cứ thực hiện khi cần.

Thứ năm, chú trọng đào tạo nhân lực và hỗ trợ chuyển đổi việc làm trong kỷ nguyên tác nhân AI. Từ bài học quốc tế là nâng cao kỹ năng số cho lực lượng lao động, Việt Nam nên xây dựng các chương trình nâng cao kỹ năng số và kỹ năng AI cho người lao động.

Thứ sáu, tăng cường hợp tác quốc tế và chủ động định hình chuẩn mực khu vực về AI. AE là hiện tượng mang tính toàn cầu, do đó không quốc gia nào tự quản lý hiệu quả nếu thiếu hợp tác và học hỏi lẫn nhau. Bài học từ Singapore là chủ động đề xuất sáng kiến khu vực, Việt Nam có thể đề xuất một khung quản trị AI ASEAN, dựa trên các nguyên tắc chung phù hợp văn hóa khu vực.

Những bài học trên cho thấy tầm quan trọng của việc hành động sớm, linh hoạt và hợp tác trong quản trị AE. Việt Nam cần chọn lọc và áp dụng sáng tạo các kinh nghiệm phù hợp, tránh thái độ chủ quan hoặc chạy theo một mô hình cố định.

7. MỘT SỐ ĐỀ XUẤT

Dựa trên cơ sở lý luận và bài học quốc tế đã phân tích, phần này bài viết đề xuất một khung chính sách quản lý AE cho Việt Nam nhằm vừa thúc đẩy phát triển công nghệ, vừa bảo vệ lợi ích xã hội. Khung chính sách gồm sáu nhóm giải pháp chính sau: (1) Hoàn thiện thể chế pháp luật; (2) Thiết lập cơ chế điều phối và quản trị liên ngành; (3) Phát triển hạ tầng kỹ thuật số và dữ liệu; (4) Đảm bảo an toàn, an ninh và đạo đức trong

Agent Economy; (5) Đào tạo nhân lực và hỗ trợ chuyển đổi việc làm; (6) Hợp tác quốc tế và thúc đẩy nghiên cứu triển khai.

(1) Hoàn thiện thể chế pháp luật về AI và Agent Economy: Việt Nam cần sớm ban hành Luật riêng về Trí tuệ nhân tạo làm nền tảng pháp lý cao nhất cho quản lý AI tại Việt Nam. Có thể dành một chương riêng quy định về hệ thống AI có tính tự chủ cao, trong đó nêu nguyên tắc quản lý AE như “AI phục vụ con người”; yêu cầu mọi triển khai tác nhân AI phải có cơ chế để con người giám sát và chịu trách nhiệm cuối cùng như luật đã nêu: “đảm bảo con người không bị thay thế hoàn toàn trong các quyết định quan trọng và con người giữ trách nhiệm tối thượng” [12]. Luật cũng nên quy định các hành vi bị nghiêm cấm liên quan đến AI, chẳng hạn: sử dụng tác nhân AI để thực hiện hành vi phạm tội; phát tán thông tin giả mạo gây hoang mang; xâm phạm đời tư cá nhân qua AI; phát triển sử dụng AI không qua kiểm định trong các lĩnh vực có điều kiện như tài chính.

(2) Thiết lập cơ chế điều phối liên ngành và tăng cường năng lực quản trị: cần thành lập cơ quan về AI và Chuyển đổi số, cơ quan này chịu trách nhiệm định hướng chiến lược AI quốc gia, các chương trình trọng điểm. Đồng thời, cơ quan theo dõi việc triển khai Luật AI, đề xuất cập nhật danh mục rủi ro, cấm và xử lý các vấn đề liên ngành nảy sinh như sự cố tác nhân AI diện rộng liên quan đến nhiều lĩnh vực.

Để nâng cao năng lực quản trị, Việt Nam cần tăng cường đào tạo đội ngũ “công chức AI”. Thêm nữa, cần trang bị công cụ kỹ thuật cho cơ quan quản lý, như triển khai hệ thống quét và phát hiện nội dung deepfake trên Internet; hệ thống giám sát giao dịch tài chính tự động; xây dựng phòng thí nghiệm kiểm thử thuật toán AI để kiểm thử các mô hình AI xem có thiên lệch hay lỗi hổng không.

(3) Phát triển hạ tầng số và dữ liệu cho Agent Economy: Chính phủ cần xem AE

là động lực để đầu tư hạ tầng số thể hệ mới như: hạ tầng tính toán, hạ tầng kết nối, hạ tầng dữ liệu. Đồng thời xúc tiến xây dựng các kho dữ liệu mở phục vụ cộng đồng AI để cả nước có thể dùng huấn luyện mô hình AI của Việt Nam. Khuyến khích các tổ chức, doanh nghiệp chia sẻ dữ liệu đã được ẩn danh lên nền tảng dữ liệu mở cơ quan chính phủ quản lý, kèm cơ chế khen thưởng nếu tích cực đóng góp dữ liệu và chế tài nếu không tuân thủ quy định.

(4) Đảm bảo an toàn, an ninh và đạo đức trong AE: Đây là trụ cột cốt lõi để tạo niềm tin xã hội khi triển khai AE. Nên thiết kế sẵn các “chốt chặn khẩn cấp” về kỹ thuật và pháp lý để ngăn chặn sự cố AI lan rộng. Bên cạnh đó, cần thiết lập hệ thống phân cấp độ tin cậy cho tác nhân AI, tác nhân AI muốn cung cấp dịch vụ rộng rãi phải được cấp phép hoặc chứng nhận an toàn bởi cơ quan quản lý. Khi tác nhân vi phạm luật, cơ quan chức năng thu hồi giấy phép và đưa tác nhân đó vào danh sách đen. Việt Nam có thể nghiên cứu ứng dụng công nghệ blockchain hoặc PKI cho việc cấp danh tính số và chứng chỉ cho tác nhân AI để quản lý.

Về an ninh mạng và phòng chống tội phạm AI: Cần nâng cao khả năng phát hiện sớm và xử lý các hành vi lợi dụng tác nhân AI. Cần trang bị công cụ AI cho chính cơ quan công an để dò tìm loạt tài khoản ảo trên mạng xã hội lan truyền tin giả. Tăng cường phối hợp quốc tế để truy vết các vụ lừa đảo xuyên biên giới dùng AI. Về phòng chống gian lận, có thể xem xét yêu cầu bổ sung đối với nhà mạng viễn thông/ISP: giám sát và báo cáo nếu phát hiện lưu lượng dữ liệu bất thường nghi do mạng bot AI điều khiển, đồng thời, cần chuẩn bị kịch bản ứng phó sự cố AI khi cần thiết.

Về đạo đức và xã hội: Chính sách cần đảm bảo nguyên tắc không thiên vị, không phân biệt đối xử trong hệ thống AI [9]. Yêu cầu các nhà phát triển và triển khai tác nhân AI phải thực hiện kiểm thử và có biện pháp giảm thiểu thiên lệch nhằm tránh gây bất

công cho nhóm yếu thế. Ngoài ra, cần bảo tồn văn hóa, ngôn ngữ: ưu tiên phát triển các mô hình AI sử dụng tiếng Việt, hiểu biết luật pháp và văn hóa Việt Nam.

(5) Đào tạo nhân lực và chuyển đổi việc làm trong kỷ nguyên tác nhân AI: Chính phủ nên triển khai một chương trình nâng cao kỹ năng số và kỹ năng AI cho người lao động gồm các hợp phần: đào tạo lại cho lao động trong những ngành dễ bị ảnh hưởng; bồi dưỡng nâng cao cho nhân viên văn phòng, kỹ sư về cách sử dụng công cụ AI tăng hiệu quả công việc; đào tạo bổ sung kiến thức AI cơ bản cho cán bộ quản lý, lãnh đạo doanh nghiệp để họ ra quyết định đúng đắn khi ứng dụng AI.

(6) Tham gia hợp tác quốc tế, định hình chuẩn mực khu vực: Việt Nam có thể đăng cai một sandbox AI chung cấp ASEAN - mời doanh nghiệp các nước ASEAN cùng thử nghiệm tác nhân AI trong một lĩnh vực có sự đồng thuận chung. Thông qua sandbox này, các nước sẽ cùng thống nhất một số quy tắc và tiêu chuẩn khu vực, tạo tiền đề cho hiệp định chung về AI sau này.

Trên diễn đàn quốc tế, Việt Nam có thể tham gia tích cực các chương trình như Đối tác Toàn cầu về AI, các nhóm công tác về AI của OECD, để vừa học hỏi chính sách, vừa đóng góp góc nhìn của nước đang phát triển. Khi Liên Hợp Quốc, UNESCO có các hoạt động về AI, Việt Nam cần nghiên cứu và nội luật hóa những khuyến nghị phù hợp.

Về hợp tác nghiên cứu, cần thúc đẩy các dự án nghiên cứu chung về AI giữa viện trường Việt Nam với đối tác phát triển. Tận dụng các quỹ như Horizon châu Âu, Quỹ VINIF để tài trợ các đề tài nghiên cứu về tác động xã hội của AI, phương pháp kiểm soát AI, v.v., tạo cơ sở khoa học cho chính sách. Khuyến khích trao đổi chuyên gia: mời các nhà khoa học Việt Kiều trong lĩnh vực AI về nước làm việc ngắn hạn, giúp đào tạo đội ngũ trẻ và chuyển giao tri thức.

Ngoài ra, hợp tác quốc tế rất cần thiết trong việc hình thành các hiệp định, quy ước

quốc tế về AE. Việt Nam nên tích cực tham gia thể hiện tinh thần trách nhiệm và đồng hành cùng cộng đồng quốc tế hướng tới một tương lai AI an toàn và công bằng.

Khung chính sách đề xuất ở trên nhằm đảm bảo Việt Nam sẵn sàng về pháp lý, kỹ thuật và nguồn lực để đón nhận AE. Quan trọng hơn cả là tạo được đồng thuận xã hội: các bên từ Chính phủ, doanh nghiệp đến người dân đều hiểu vai trò của mình và hợp tác trong quá trình triển khai. Chính sách mềm dẻo, có tinh thần học hỏi và cải tiến liên tục bởi bản thân Agent Economy sẽ tiến hóa không ngừng. Như Rothschild và cộng sự nhận định: *“Lựa chọn chúng ta thực hiện hôm nay sẽ quyết định không chỉ cách thị trường này vận hành mà còn ai sẽ hưởng lợi từ làn sóng công nghệ mới”* [3]. Việt Nam cần những quyết sách đúng đắn ngay từ bây giờ để đảm bảo Agent Economy trong tương lai sẽ phục vụ lợi ích chung của dân tộc, đồng thời đóng góp vào sự phồn vinh của cộng đồng quốc tế trong thời đại số.

8. KẾT LUẬN

Agent Economy - nền kinh tế vận hành bởi các tác nhân AI tự trị – đang đặt nhân loại trước một bước ngoặt lịch sử. Những lợi ích to lớn về năng suất, hiệu quả, sáng tạo AE hứa hẹn mang lại đi kèm với những thách thức phức tạp về quản trị công nghệ, pháp lý và đạo đức. Đối với Việt Nam, một quốc gia đang tăng tốc chuyển đổi số, việc chủ động nắm bắt xu hướng AE và xây dựng khung chính sách quản lý phù hợp có ý nghĩa sống còn để không bị tụt hậu, đồng thời tránh sa vào mặt trái của công nghệ.

Bài nghiên cứu đã hệ thống hóa cơ sở lý luận về AE, nhấn mạnh đặc trưng của tác nhân AI và các tác động kinh tế - xã hội mà chúng có thể mang lại. Kinh nghiệm quốc tế được phân tích cho thấy nhiều cách tiếp cận đa dạng: từ Mỹ đề cao đổi mới đến EU thận trọng với luật lệ, từ Trung Quốc kiểm soát chặt đến Singapore linh hoạt cân bằng. Không có mô hình nào hoàn hảo tuyệt đối,

nhưng tất cả đều chung nhận định rằng quản trị Agent Economy đòi hỏi tầm nhìn xa, phối hợp đa ngành và tinh thần cải cách liên tục.

Đối chiếu với điều kiện Việt Nam, bài viết đã đề xuất một khung chính sách toàn diện, bao quát từ hoàn thiện thể chế pháp luật, nâng cao năng lực quản lý, phát triển hạ tầng, đảm bảo an toàn - an ninh, đào tạo nguồn nhân lực đến hợp tác quốc tế. Một số đề xuất cụ thể đáng chú ý gồm: xây dựng Luật AI với cách tiếp cận quản lý theo rủi ro; thành lập cơ quan về AI để điều phối liên ngành; triển khai cơ chế regulatory sandbox để thử nghiệm AI trong phạm vi kiểm soát; đầu tư Trung tâm HPC quốc gia và thúc đẩy dữ liệu mở; áp dụng hệ thống chứng chỉ và đăng ký tác nhân AI; lập quỹ hỗ trợ đào tạo lại lao động; và tham gia tích cực các sáng kiến quản trị AI toàn cầu.

Khung chính sách này hướng đến mục tiêu kép: thúc đẩy đổi mới sáng tạo trong lĩnh vực AI/tác nhân AI để phục vụ phát triển kinh tế - xã hội, đồng thời thiết lập các “làn ranh đỏ” và cơ chế kiểm soát hiệu quả để hạn chế rủi ro, bảo vệ người dân và ổn định xã hội. Việc cân bằng hai mục tiêu này không hề dễ dàng, đòi hỏi nghệ thuật quản lý tinh tế cũng như sự chung sức của mọi thành phần liên quan. Nhà nước cần đóng vai trò định hướng và điều phối, nhưng thành công sẽ phụ thuộc vào việc doanh nghiệp có tuân thủ triển khai AI một cách trách nhiệm và người dân có sẵn sàng đón nhận, nâng cao kỹ năng để cộng tác với AI hay không.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. S. Hosseini & H. Seilani (2025). *The role of agentic AI in shaping a smart future: A systematic review*, Array, 26, 100399.
- [2]. T. J. Chaffer (2025). *Can We Govern the Agent-to-Agent Economy?* arXiv preprint arXiv:2501.16606.
- [3]. D. M. Rothschild *et al.* (2025). *The Agentic Economy*, arXiv preprint arXiv:2505.15799.
- [4]. M. Yıldızoğlu (2023). *AI Agents: Transforming Economics and Beyond*, Lecture notes, University of Bordeaux.

Transforming Economics and Beyond, Lecture notes, University of Bordeaux.

[5]. S. Cecchini *et al.* (2025). *Virtual Agent Economies (Sandbox Economy)*, arXiv preprint arXiv:2509.10147.

[6]. The Future Society (2025). *Ahead of the Curve: Governing AI Agents under the EU AI Act* (Report). Website: <https://thefuturesociety.org/aiagentsintheetu/>

[7]. Infocomm Media Development Authority – IMDA Singapore (2025). *Singapore launches new tools to help businesses protect data and deploy AI in a trusted ecosystem* (Press release, 07/07/2025). Website: <https://www.imda.gov.sg/resources/press-releases-factsheets-and-speeches/press-releases/2025/singapore-launches-new-tools-to-help-businesses-protect-data-and-deploy-ai-in-a-trusted-ecosystem>

[8]. E. Fincken (2025). *Vietnam unveils draft artificial intelligence law*, Global Legal Insights (GLI), 6 Oct 2025. Website: <https://www.globallegalinsights.com/news/vietnam-unveils-draft-artificial-intelligence-law/>

[9]. White & Case (2023). *AI Watch: Global regulatory tracker – China*, White & Case (online). Truy cập 2025, Website: <https://www.whitecase.com/insight-our-thinking/ai-watch-global-regulatory-tracker-china>

[10]. A. Turrell (2020). *Agent-based models: understanding the economy from the bottom up*, Bank of England Quarterly Bulletin, Q4/2020.

[11]. Software Improvement Group (2025). *AI legislation in the US: A 2025 overview*, SIG Blog (online). Truy cập 2025, Website: <https://www.softwareimprovementgroup.com/blog/us-ai-legislation-overview/>

[12] Việt Nam (2025) Luật Công nghiệp Công nghệ số. Website: <https://vanban.chinhphu.vn>

STRATEGIES TO REDUCE UNETHICAL CONSUMPTION BEHAVIOURS AMONG TOURISTS FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT: INSIGHTS FROM TOUR GUIDES

Tin Doan*, Nguyen Duc Thang**

*Newcastle Business School, Northumbria University, United Kingdom

*Faculty of Tourism, Nguyen Tat Thanh University, Vietnam

**East Asia Technology University, Vietnam

ABSTRACT

Unethical consumption behaviours among tourists-including wastefulness, environmental degradation, cultural disrespect, exploitative bargaining, and irresponsible use of local resources-pose increasing challenges for destinations seeking sustainable development. While much scholarship focuses on tourists' motivations or destination management strategies, fewer studies examine the roles of frontline tourism workers who directly shape visitor behaviour. This article draws on the insights and experiences of professional tour guides to identify practical and strategic approaches for reducing unethical consumption and promoting more sustainable practices. The article develops a multi-level framework combining behavioural influence theory, social learning perspectives, and sustainability communication strategies. Using qualitative insights from tour guides, it identifies five clusters of effective interventions: (1) pre-emptive education and expectation-setting, (2) modelling and reinforcing positive behaviour, (3) emotion-based persuasion and moral reframing, (4) situational management and environmental design, and (5) collaborative destination governance. Findings suggest that tour guides exercise significant agency as “micro-regulators” of sustainable tourism, but their efforts depend on institutional support, fair working conditions, and organisational training. The study highlights the need to reposition guides as co-creators of sustainability policy, not merely service providers. It concludes with practical recommendations for destination management organisations (DMOs), policymakers, training institutions, and tourism operators.

Keywords: tour guide, unethical consumption behaviour, sustainable tourism, effective interventions

Ngày nhận bài: 06/12/2025; **Ngày sửa bài:** 19/12/2025; **Ngày duyệt đăng:** 20/12/2025

1. Introduction

Tourism has long been recognised as a double-edged phenomenon. While it offers economic benefits, cultural exchange, and employment opportunities, it simultaneously contributes to environmental degradation, resource depletion, and social inequities (Hall et al., 2015). Among the challenges faced by destinations, unethical consumption behaviours by tourists have emerged as a critical barrier to sustainable development. These behaviours may include excessive water use, food wastage, purchasing illegal wildlife products, disrespecting cultural norms, littering, damaging natural landscapes, or exploiting local labour markets (Gössling & Peeters, 2015). In the context of climate change, fragile ecosystems, and growing pressures on host communities, addressing these behaviours is not only desirable but imperative.

While scholars increasingly recognise the need for responsible tourist behaviour (Juvan & Dolnicar, 2016; Higham et al., 2019), much of the literature focuses on tourists' internal motivations, environmental attitudes, or demographic predictors of responsible behaviour. Far less attention is paid to the social actors who directly engage with tourists during their trips—particularly tour guides. Tour guides serve as cultural mediators, safety managers, educators, and interpreters of place. They are uniquely positioned to influence tourists' ethical awareness and consumption patterns (Ap & Wong, 2001; Rabotić, 2010). Their role becomes even more critical in destinations confronting climate-induced environmental pressures, as found in the study by Doan et al. (2025), which highlighted how guides shape tourists' behaviour in vulnerable settings.

Building on Doan et al.'s empirical findings, this article expands the scope to explore how tour guides can influence

tourist behaviour across a wider spectrum of unethical consumption issues beyond climate-induced contexts. The study addresses the following research questions:

What types of unethical consumption behaviours do tour guides frequently encounter among tourists?

What strategies do tour guides use to reduce these behaviours and encourage more sustainable practices?

What structural or organisational factors support or hinder guides' efforts to influence tourists ethically?

By synthesising empirical evidence, behavioural theory, and guides' lived experiences, this article develops a comprehensive strategic framework for intervening in tourist behaviour. It argues that tour guides function as frontline agents of ethical tourism and have the capacity to shape significant behavioural change when supported by appropriate institutional structures.

This research makes several contributions. First, it situates tour guides more centrally within sustainability research, extending the conceptualisation of their role as educators and behavioural influencers. Second, it offers actionable strategies for operators, training institutions, and policymakers seeking to reduce unethical consumption. Finally, it responds to global sustainability agendas—including the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs)—which call for shifts in both consumption and production patterns (UNWTO, 2022).

2. Literature Review

In practice, research on this issue can be approached from various perspectives and through different methodological frameworks. The authors argue that, regardless of the chosen approach, it is essential to identify and address the following key issues in order to achieve

the research objectives: *mitigation strategies; tourists' unethical consumption behavior; sustainable development; and the perspectives of tour guides.*

2.1 Unethical Consumption in Tourism

Unethical consumption has become a central concern within tourism studies as destinations face ecological fragility, climate-induced risks, and accelerated sociocultural transformation. While tourism is often framed as a benign form of leisure, its material practices contribute significantly to environmental degradation, resource inequality, and cultural appropriation (Gössling & Peeters, 2015). Tourism consumption—unlike everyday consumption—is concentrated, intensified, and frequently detached from the moral norms that govern behaviour at home (Cohen & Cohen, 2019). This disembedded nature of tourism gives rise to a variety of unethical consumption patterns.

The first major category concerns environmental irresponsibility, including littering in natural parks, stepping on coral reefs, disturbing wildlife through feeding or close photography, and consuming disproportionate quantities of water or energy (Gössling, 2021). Such actions are often rationalised by tourists as short-term or insignificant, despite cumulative impacts on ecosystems. For example, studies in coastal destinations show that snorkellers and divers frequently underestimate the fragility of marine environments, leading to unintentional yet harmful contact with coral (Davis & Tisdell, 1995). Similarly, the expansion of tourism in water-scarce regions has amplified issues of overconsumption and sustainability injustice, as tourists' water use often exceeds that of local residents (Cole, 2012).

A second category involves cultural disrespect, which occurs when visitors

disregard local customs or sacred values. Inappropriate dress in religious sites, unauthorised drone photography, entering restricted temples, or treating cultural artefacts merely as backdrops for social media are common examples (Reisinger & Steiner, 2006; Mkono, 2020). These behaviours are not only culturally insensitive but also commodify and trivialise local identity, contributing to what MacCannell (1999) calls the “sacralisation and desacralisation” cycle of heritage. In Asian destinations, in particular, spiritual spaces are often misinterpreted through Western secular lenses, leading tourists to engage in behaviours that locals view as profoundly disrespectful (Winter, 2009).

A third form of unethical consumption involves economic exploitation, which manifests through unfair bargaining, purchasing from unregulated vendors, or supporting exploitative tourism sectors. Bargaining far below fair market value can reinforce poverty traps for artisans and informal workers, while participation in unregulated volunteer tourism may displace local labour or reinforce dependency structures (Sin, 2009). Scholars have also noted that tourists' preference for cheap goods often fuels informal economies associated with unsafe working conditions and child labour (Scheyvens & Biddulph, 2018).

A further area of concern is illegal purchasing behaviours, such as buying wildlife products, antiquities, coral jewellery, or plant species under protection (UNODC, 2021). These activities contribute to global trafficking networks and the depletion of endangered species. Tourists may justify such purchases as “unique souvenirs”, unaware of the legal and ecological implications. Even when laws are communicated clearly, some visitors perceive these warnings as part of the

adventure of travel, engaging in “risk-laden consumption” that reinforces harmful trade (Packer et al., 2015).

Scholars have identified several psychological processes underpinning unethical consumption. Moral disengagement allows individuals to justify or neutralise harmful actions by minimising consequences or diffusing responsibility (Bandura, 2002). Tourist exceptionalism describes the belief that holidays represent a temporary moral suspension, where indulgence and gratification trump ethical considerations (Cohen, 2008). This is reinforced by situational anonymity, as tourists often feel unrecognised and unaccountable in unfamiliar destinations (Shaw et al., 2004). In addition, hedonic motivations and sensory distractions reduce cognitive attention to consequences, making ethical decision-making less likely (Hunter, 2020). Together, these factors create a tourism environment where unethical consumption is both normalised and, at times, incentivised.

Understanding these drivers is crucial for designing interventions that tourism stakeholders-particularly tour guides-can use to mitigate harmful behaviour.

2.2 Responsible Tourist Behaviour and Behavioural Change

Responsible tourist behaviour encompasses actions that minimise harm and contribute positively to the cultural, environmental, and economic well-being of host communities (Juvan & Dolnicar, 2016). Yet translating ethical intentions into responsible action remains challenging due to the cognitive, emotional, and contextual complexities of travel. Tourists may express pro-environmental attitudes prior to travel but fail to act accordingly when confronted with situational pressures, convenience barriers, or the desire for leisure-based reward (Barr et al., 2010).

Scholars have therefore examined the mechanisms through which responsible behaviour can be encouraged. Knowledge of environmental consequences is foundational: tourists who understand the fragility of ecosystems are more likely to adjust their behaviour (Ballantyne et al., 2011). However, knowledge alone rarely drives sustained behavioural change, especially in leisure contexts. Instead, social norms-the perceived expectations of the group-play a stronger role. When responsible behaviour is framed as socially desirable or typical, tourists are more likely to comply (Cialdini, 2007; Gössling et al., 2019). Tour groups provide fertile ground for norm diffusion because individuals regularly observe and mimic the behaviour of peers.

Personal values and identity are also central. Tourists who see themselves as environmentally conscious are more likely to act responsibly, although identity-performance gaps persist (Whitmarsh & O'Neill, 2010). Situational cues, such as clear signage, accessible recycling facilities, or structured itineraries, create environments that make responsible behaviour easier. In contrast, ambiguous or disorganised settings often produce unintentional infractions.

Behavioural change also depends on enforcement and sanctions, though these are difficult to implement without compromising visitor experience. Research indicates that soft enforcement-gentle reminders, moral framing, or guide-led boundary setting-tends to be more effective than punitive measures in tourism contexts (Ham, 2007). Finally, role modelling and persuasive communication by credible messengers can significantly influence behaviour. Storytelling, emotional appeals, and interpretive guidance have been shown to enhance tourists' sense of connection to place, thereby increasing their willingness

to behave responsibly (Moscardo, 1996).

These insights highlight the need for interventions that combine cognitive, emotional, and situational dimensions-precisely the domains in which tour guides operate daily.

2.3 Tour Guides as Behavioural Influencers

Tour guides are among the most visible and influential actors in tourism systems. Their role extends far beyond providing information; they shape tourist perceptions, mediate cultural encounters, and regulate behaviour through subtle forms of leadership and communication (Ap & Wong, 2001). Research has conceptualised guides as interpreters, mediators, educators, performers, and risk managers, each of which positions them to influence consumption behaviour (Rabotić, 2010).

Several attributes underpin their behavioural influence. First, guides have expert authority. Their knowledge of local environments, cultures, and histories affords them credibility. Tourists often view guides as authentic ambassadors of place, making them receptive to guidance about ethical behaviour (Reisinger & Steiner, 2006). Second, guides possess social credibility as local insiders. Unlike promotional materials or regulatory signage, guides offer human connection, contextualised explanations, and personalised interactions.

Third, guides cultivate emotional rapport with tourists. Through humour, empathy, and relational communication, they establish trust, which creates an enabling environment for behavioural persuasion. This relational dynamic is particularly effective when addressing sensitive issues such as waste, dress codes, or illegal wildlife purchases. Fourth, guides exercise significant control over itineraries and activities, allowing them to curate experiences that minimise

opportunities for unethical consumption. For example, guides may select responsible vendors, structure visits to reduce environmental strain, or design routes that avoid culturally sensitive areas.

Doan et al. (2025) further show that guides in climate-induced regions act as **environmental stewards**, leveraging storytelling, moral messages, and social norms to encourage tourists to adopt responsible practices. Their findings support broader calls to recognise guides as key agents in sustainable tourism governance rather than peripheral service workers.

3. Methodology

This study adopts a constructivist qualitative orientation to explore how tour guides develop and implement strategies to reduce unethical consumption behaviours among tourists. A constructivist paradigm is particularly suitable because it acknowledges that knowledge is socially constructed through interactions, experiences, and contextual interpretation (Charmaz, 2014). The aim of the research was not to quantify the prevalence of unethical consumption but to understand the nuanced, situated meanings that tour guides attribute to these behaviours, as well as the strategies they use to influence tourists' choices in real time. Tour guides' perspectives offer rich insights into the complexities of everyday encounters, the negotiation of behavioural norms, and the subtle moral engagements embedded in guiding practices. In addition, the authors employed a combination of tourism research methods, including fieldwork, expert interviews, and sociological surveys, integrated into the in-depth interviews with tour guides in Ho Chi Minh City, in order to enhance the overall rigor and value of the study.

3.1 Research Design

The study was designed as an exploratory

inquiry and interpreted using in-depth semi-structured interviews with 23 professional tour guides who are primarily and regularly active in the former central District 1 of Ho Chi Minh City (HCMC), Vietnam. The tourists most frequently encountered by these tour guides are predominantly from Europe, the United States, India, South Korea, and other regions. HCMC offers a unique setting due to its dense urban tourism ecosystem, diverse tourist demographics, and high exposure to issues such as overconsumption, waste generation, wildlife purchasing, and cultural misbehaviour. Guides in this context navigate a wide range of tourist behaviours on a daily basis, making them ideal informants for uncovering practical strategies and lived experiences.

The decision to focus on tour guides aligns with previous research emphasising their central role as behaviour managers and cultural mediators (Rabotić, 2010; Weiler & Black, 2015). The semi-structured format allowed for depth and flexibility, giving participants space to narrate real examples, contextualise challenges, and reflect on personal strategies. This approach aligns with a constructivist understanding that reality is co-created by researcher and participant during the interview process.

3.2 Sampling Strategy

A purposive sampling strategy was used to recruit participants with diverse backgrounds, including freelance guides, guides employed by travel agencies, and specialist guides working in cultural, culinary, wildlife, and heritage tours. The guiding experience of participants ranged from 3 to 22 years. This diversity enabled the capture of multiple perspectives on both the forms of unethical consumption encountered and the interventions used to address them.

Participants were recruited through

professional tour guiding networks, tourism associations, and referrals (snowballing), which facilitated access to experienced guides who could articulate reflective and practice-based insights. The sample size of 23 was deemed appropriate for qualitative thematic saturation (Hennink et al., 2017), as no new themes emerged after approximately 20 interviews, though the remaining interviews added nuance and depth.

3.3 Data Collection

Interviews were conducted between March and July 2025. All interviews were held in places chosen by participants—typically cafés, training centres, or quiet public spaces—to ensure comfort and confidentiality. Each interview lasted between 60 and 90 minutes and was conducted in Vietnamese.

A semi-structured interview guide was used, with questions covering:

Experiences with tourist consumption behaviours in practice

Examples of unethical or irresponsible consumption

Strategies used to influence or change tourist behaviour

Challenges encountered when attempting behavioural intervention

Reflections on how sustainable development principles shape guiding practices

Follow-up probing questions enabled participants to elaborate on personal stories and contextual explanations.

All interviews were audio-recorded with consent, transcribed verbatim, and translated into English for analysis while retaining key idiomatic nuances. Reflective field notes were written immediately after each interview to capture emerging impressions, contextual observations, and initial analytical thoughts.

3.4 Data Analysis

Thematic analysis was employed following Braun and Clarke's (2006) six-phase framework: familiarisation, coding, theme development, reviewing, defining, and reporting. NVivo 14 was used to manage, code, and organise the data systematically. NVivo facilitated the handling of large qualitative datasets, enabled coding consistency, allowed comparison across participants, and supported visualisation of theme relationships through query functions and node structures.

Coding began with an inductive approach, allowing themes to emerge directly from the data, consistent with the constructivist epistemology. Initial codes included categories such as “waste management messages,” “storytelling for moral influence,” “peer accountability,” “tourist resistance,” and “cultural explanation strategies.” As analysis progressed, broader themes were identified, including:

Preventive communication before behavioural violations occur

On-site corrective strategies

Emotional and cultural reframing

Structural and logistical interventions

Collaborative, community-based approaches

Throughout the analysis, reflexive memos were written to interrogate assumptions and track evolving interpretations. This reflexive practice ensured analytical transparency and mitigated the influence of researcher positionality on theme construction (Nowell et al., 2017).

3.5 Trustworthiness and Ethical Considerations

To enhance credibility, member checking was conducted with six participants who reviewed summaries of initial themes to confirm accuracy and resonance with their experiences. Triangulation was achieved

by comparing findings across guides with different expertise and organisational affiliations.

Dependability was strengthened through maintaining a clear audit trail—including interview guides, coding frameworks, and analytical memos—ensuring that research decisions were transparent and replicable. Thick descriptions in reporting enhance transferability by allowing readers to assess relevance to other tourism contexts.

Ethical approval was obtained from the institutional ethics committee. All participants provided informed consent, were assured confidentiality, and were assigned pseudonyms to protect identity. Given that guides shared sensitive experiences involving tourist conflict or organisational pressures, particular care was taken to anonymise contextual details that could reveal identities.

4. Findings and Thematic Discussion

Analysis of the 23 interviews produced five interconnected thematic clusters illustrating how tour guides understand, negotiate, and intervene in unethical tourist consumption. These themes illuminate the subtle communicative labour, emotional intelligence, and strategic decision-making used by guides to support more responsible consumption practices. Although guides frequently emphasised that most tourists do not intentionally behave unethically, they recognised a persistent pattern of ignorance, cultural mismatch, and “holiday exceptionalism,” which rendered behavioural intervention essential. The themes are discussed below, with illustrative quotes.

4.1 Pre-Emptive Education and Expectation-Setting

4.1.1 Importance of early intervention

Across interviews, guides repeatedly stressed that prevention is far more

effective than correction. Many unethical behaviours emerged not from malicious intent but from tourists' limited awareness of the environmental, cultural, or social implications of their actions. A senior nature guide with 15 years of experience explained:

"Most tourists do not wake up thinking they will damage the environment. They simply don't know. If I explain early, they understand and avoid mistakes." (Guide 07)

Another cultural heritage guide echoed this sentiment, noting that misbehaviour is often the consequence of cultural disconnect rather than disrespect:

"It's not that they mean to be rude in temples. They just don't know which areas are sacred or why you cannot touch certain statues. If we wait until they violate, it is already too late." (Guide 12)

Early expectation-setting therefore acts as a buffer, reducing the likelihood of negative incidents and minimising the social tension that arises when guides must correct behaviour after the fact.

4.1.2 Tools and practices

Guides draw on a mix of verbal, visual, and digital tools to set expectations before tourists engage in activities. These include:

Pre-tour briefings: Almost every guide described delivering a short, structured briefing at the start of the tour. This covers environmental conditions, cultural norms, safety guidelines, and expected behaviours. Guides emphasised brevity and clarity. Digital pre-arrival materials: Increasingly, guides and agencies send welcome videos or eco-tips before tourists even arrive. A freelance guide remarked that this helps frame the tour as an ethical experience: *"If they watch the video about waste or water shortages before flying, they come mentally prepared. They know the purpose of responsible travel."* (Guide 19)

Cultural and climate narratives: Guides often weave in narratives about environmental or cultural vulnerability to contextualise expectations. Decolonised cultural briefings: Some guides purposely avoided hierarchical or exoticising descriptions of local culture. Instead, they positioned communities as active custodians of heritage: *"I don't say 'this is how we serve tourists.' I say 'this is our home and we invite you to respect it as we do.' This changes the energy completely."* (Guide 14)

4.1.3 Communication tone

Although guides emphasised clarity, they also noted that tone determines whether tourists listen or resist. A strict or moralistic tone could be perceived as patronising. Instead, guides adopted culturally grounded, friendly communication: *"If you lecture them, they switch off. If you talk like a friend sharing your culture, they follow."* (Guide 02)

Humility increases receptiveness, particularly in mixed-nationality groups. A guide working with European and North American tourists explained: *"I often say: 'This is what my grandmother taught me'; tourists respect that. It feels authentic and not like a rulebook."* (Guide 21)

This relational tone aligns with Vietnam's high-context communication culture, where indirectness and emotional warmth support behavioural acceptance.

4.2 Modelling and Reinforcing Positive Behaviour

4.2.1 Behavioural modelling

Guides frequently emphasised that tourists learn more from observing than from being told. Many behaviours-respecting sacred spaces, avoiding plastic waste, seeking permission for photography-were best modelled rather than explained (See Figure 1). One participant reported: *"If I carry my own bottle and refill it, they*

follow. If I sort rubbish properly, they copy me." (Guide 11)

In sacred sites, guides demonstrate appropriate behaviour by slowing their pace, lowering their voice, or making small ritual gestures: *"I show them how to enter the temple slowly. When they see me bow slightly, they imitate. No need for long explanation."* (Guide 09)

This form of embodied teaching aligns with Bandura's (1986) social learning theory: behavioural norms become visible and believable when performed by a credible model.

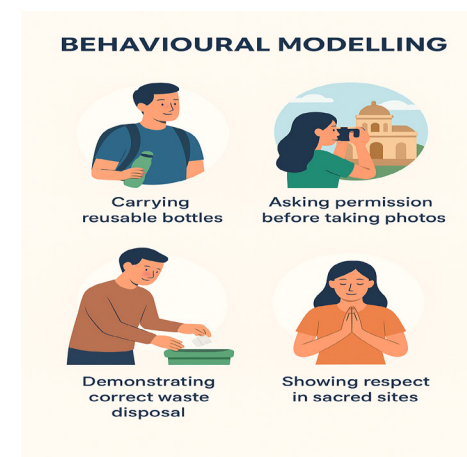


Figure 1. Demonstration of behavioural modelling

Source: Authors' own model development.

4.2.2 Reinforcement mechanisms

Guides supplemented modelling with various reinforcement strategies:

Praise for responsible behaviour: *"When someone refills their bottle or helps pick up trash, I praise them. The whole group becomes proud and imitates."* (Guide 04)

Story-based reinforcement: Some guides shared stories of responsible tourists, subtly valorising ethical behaviour: *"I say, 'Last week a family helped reduce waste by bringing their own lunch boxes'-people feel inspired."* (Guide 10)

Gentle correction: Corrections were delivered softly and privately wherever

possible to avoid embarrassment: *"If someone breaks a rule, I walk to them quietly and explain the reason. They appreciate the respect."* (Guide 17)

Collectively, these strategies frame responsible behaviour as normal, attractive, and socially rewarded.

4.3 Emotion-Based Persuasion and Moral Reframing

While information is necessary, guides highlighted that facts alone rarely shift behaviour. Emotional strategies-empathy, humour, and moral reframing-proved more effective.

4.3.1 Empathy-building stories

Guides told stories about communities affected by climate change, pollution, or cultural degradation. These stories brought issues to life: *"I tell them about the fisherman whose nets catch plastic instead of fish. When they hear it's a real person, not an abstract problem, they stop littering."* (Guide 15)

Another reported: *"When I share how my family had to move house because of flooding, the tourists become very protective of the environment."* (Guide 08)

These narratives foster moral reflection and help tourists emotionally connect with place-based issues.

4.3.2 Moral reframing

Guides reframed responsible behaviour not as obligation but as:

Respect: *"I say, 'When you behave this way, it shows respect for local people.' Respect matters to most visitors."* (Guide 22)

Protection for future generations: *"I tell them the place is beautiful because people protected it. If we all care together, our children can enjoy it too."* (Guide 06)

Participation in local resilience: *"I say, 'You are now part of the community protecting this area.' This makes them feel proud."* (Guide 03)

This reframing taps into positive emotions-gratitude, pride, empathy-rather than guilt or fear.

4.3.3 Humour and relational communication

Humour emerged as a culturally effective way to correct behaviour without embarrassment: *"If someone forgets the rule, I make a small joke. Everyone laughs and the message is clear without conflict."* (Guide 01)

Humour softened the enforcement process and strengthened group rapport, which in turn encouraged conformity to ethical norms.

4.4 Situational Management and Environmental Design

Beyond communication, guides also modify physical and social environments to support responsible behaviour.

4.4.1 Structuring choices

Guides frequently alter itineraries, vendor choices, and logistical setups to reduce opportunities for unethical consumption:

Waste management: *"I always choose places with recycling bins. If bins are there, tourists will sort their waste."* (Guide 05)

Sustainable restaurants: *"I bring groups to restaurants that use local produce and reduce plastic. It's easier for tourists to behave well when the environment supports it."* (Guide 20)

Avoiding illegal trade: *"I don't stop at shops selling wildlife products. If you remove the temptation, you remove the problem."* (Guide 13)

These decisions shift responsibility from individual tourists to the wider tourism system.

4.4.2 Group dynamics

Many guides carefully manage group norms, recognising that tourists follow the behaviour of peers: *"If one person does something wrong, others think it is allowed. I set group agreements early to create a*

shared standard." (Guide 04)

Peer reinforcement is used strategically: *"When the group praises someone for being responsible, it creates a positive social pressure."* (Guide 18)

By shaping group identity around sustainability, guides foster a collective moral climate.

4.4.3 Risk management and enforcement

Although guides prefer soft approaches, they acknowledged moments when firm boundaries are necessary-especially in fragile ecosystems or sacred spaces: *"In the mangrove forest, if someone tries to touch wildlife, I must be strict. The risk is too high."* (Guide 16)

Some described escalating strategies: *"First, I explain gently. If they continue, I warn them clearly. If needed, I report to the operator."* (Guide 07)

Enforcement was framed as care for the environment, not punishment.

4.5 Collaborative Destination Governance

Guides repeatedly stressed that they cannot shift behaviour alone; structural inconsistencies in the tourism system often undermine their efforts.

4.5.1 Cross-sector collaboration

Guides emphasised the need for alignment among tour operators, DMOs, environmental agencies, and cultural custodians: *"I teach tourists not to buy single-use plastic, but then the restaurant serves everything in plastic. We need the system to work together."* (Guide 14)

Collaboration ensures consistent messaging and reduces mixed signals.

4.5.2 Training and professional development

Many guides highlighted gaps in formal training, particularly in sustainability communication, conflict resolution, and cross-cultural interpretation: *"We are expected to manage behaviour, but we never*

receive proper training on how to do this." (Guide 09)

They expressed strong interest in capacity-building programmes that integrate behavioural psychology, climate communication, and decolonial interpretation practices.

4.5.3 Policy support

Finally, guides identified regulatory clarity as a key enabler: *"If the government bans wildlife products but enforcement is weak, tourists ignore the rule. Stronger policy gives us authority."* (Guide 11)

Transparent, consistent regulations help guides justify boundaries and enhance credibility when communicating sustainability expectations.

Across the five themes, the findings reveal that guides enact a sophisticated blend of communicative, emotional, social, and environmental strategies to reduce unethical consumption behaviours. Their influence lies not only in providing information but also in shaping experiences, relationships, and environments. Rather than relying on moral judgement, guides foster empathy, group identity, and shared responsibility-anchored in a deep understanding of local culture and environmental vulnerability.

Together, these findings highlight tour guides as frontline behavioural stewards whose strategies hold significant potential for advancing sustainable tourism development when supported by training, governance, and system-wide coordination.

5. Implications

5.1 Theoretical Implications

This study contributes to the evolving scholarship on sustainable and ethical tourism by foregrounding the role of tour guides as *behavioural stewards* rather than merely facilitators of itineraries. Existing frameworks often position responsible tourism as an individualised moral obligation of the traveller or as a structural

responsibility of destination management organisations (DMOs). The findings challenge this dichotomy by introducing a *mid-level agent model*, highlighting how tour guides operate at the intersection of micro-level tourist behaviours and macro-level environmental and cultural vulnerabilities.

The narratives reveal that guides influence consumption patterns through relational trust-building, emotional resonance, situational design, and culturally grounded communication. These mechanisms extend tourism behavioural theory by demonstrating how social learning (Bandura, 1986), behavioural nudging (Thaler & Sunstein, 2008), and moral reframing (Feinberg & Willer, 2015) are mobilised in dynamic, short-term tourism encounters. Unlike static educational approaches, the guides' strategies show that behaviour change in tourism is temporal, contextually responsive, and embedded within social interactions.

This research also extends the work of Doan et al. (2025) on responsible behaviour in climate-induced areas. While the earlier model emphasised environmental vulnerability and motivational pathways, the present study broadens the conceptual scope to encompass cultural, economic, and ethical dimensions of consumption. It also highlights the emotional labour and soft-power diplomacy exercised by guides-elements underexplored in prior tourism ethics studies. By documenting how guides integrate empathy-building stories, humour, and relational communication into behavioural interventions, the findings contribute to a more holistic understanding of ethical consumption as both cognitive and affective.

Furthermore, the study underscores the significance of guides as co-governors in destination sustainability systems. Their frontline position and daily interactions with tourists allow them to detect emerging

patterns of misconduct, mediate conflicts, and negotiate cultural boundaries-functions that align with adaptive co-management theory. Thus, guides are conceptualised not only as interpreters of place but as agents who stabilise moral order in rapidly changing tourism environments.

5.2 Practical Implications

5.2.1 For tour operators

Tour operators stand to benefit from institutionalising sustainability within tour design and guide practice. Integrating structured sustainability briefings into all programmes ensures consistency and reduces reliance on individual guide discretion. Operators should also provide clear backing for guides when enforcing behavioural regulations, as authority without institutional support limits effectiveness. Co-creating communication scripts with guides-who understand tourist psychology intimately-can enhance authenticity and improve compliance.

5.2.2 For DMOs and policymakers

DMOs and policymakers should formally recognise tour guides as partners in sustainability governance. Developing clear, accessible guidelines for ethical tourist behaviour would remove ambiguity and strengthen enforcement. Certified training programmes in sustainability communication, behavioural intervention, and intercultural negotiation would empower guides and promote professionalisation of the sector. Policies should also align regulations across operators and attractions to ensure behavioural expectations are consistent.

Tourism policymakers in Vietnam in general, and in Ho Chi Minh City in particular, need to establish coordinated mechanisms in issuing regulations governing tour guide licensing requirements. At present, obtaining domestic and international tour guide cards is relatively

easy. Even many training institutions that provide tour guiding professional certificates-an essential prerequisite for license issuance-do not genuinely focus on professional training, skill development, or awareness enhancement, but instead prioritize enrollment volume and revenue. This shortcoming is likely to lead to a range of adverse consequences in the future.

5.2.3 For training institutions

Training institutions play a vital role in equipping future guides with the tools to manage unethical behaviour. Curricula should include behavioural psychology, ethics, intercultural communication, and conflict resolution. Scenario-based training-simulating issues such as illegal purchasing, cultural disrespect, or environmental misconduct-would allow trainees to practise interventions in safe environments and build confidence.

The body of knowledge provided to students majoring in tour guiding at universities and colleges plays a crucial role. Future tour guides are currently lacking in practical skills and real-world experience related to tourist behavior, particularly unethical tourist behavior. Practical and application-oriented courses that can be incorporated into the curriculum-such as Tourism Psychology and Communication Skills; Tourism Marketing; Sales Skills; Tour Guiding Operations; Tour Operations Management; Tourist Consumer Behavior; and others-would contribute significantly to enhancing awareness and professional competencies among future generations of tour guides.

5.2.4 For local communities

Local communities can collaborate with guides to ensure that cultural heritage is represented respectfully and accurately. Regular dialogue between community custodians and guides can help identify sensitive sites, emerging risks, and community protection needs. Such

collaboration strengthens shared stewardship and ensures that tourism development aligns with community priorities.

6. Conclusion

Unethical consumption behaviours represent one of the most immediate challenges to sustainable tourism development. This article demonstrates that tour guides play an indispensable yet often undervalued role in influencing tourist behaviour. Through education, modelling, emotional persuasion, situational management, and collaborative governance, guides exert a substantial positive impact on sustainability outcomes.

However, their influence is not automatic; it requires structural support, training, and recognition of guides as ethical leaders rather than mere service providers. As destinations increasingly face climate pressures, cultural commodification, and resource scarcity, the role of tour guides in shaping responsible consumption becomes more critical than ever.

Ultimately, creating a sustainable tourism future demand not only policy frameworks and technological solutions but also human-centred strategies-and tour guides stand at the forefront of this work.

References

- Ap, J., & Wong, K. K. F. (2001). Case study on tour guiding: Professionalism, issues and problems. *Tourism Management*, 22(5), 551–563. [https://doi.org/10.1016/S0261-5177\(01\)00013-9](https://doi.org/10.1016/S0261-5177(01)00013-9)
- Ballantyne, R., Packer, J., & Falk, J. (2011). Visitors' learning for environmental sustainability: Testing short- and long-term impacts of wildlife tourism experiences using structural equation modelling. *Tourism Management*, 32(6), 1243–1252.
- Bandura, A. (1986). *Social foundations of thought and action: A social cognitive theory*. Prentice Hall.
- Bandura, A. (2002). Selective moral disengagement in the exercise of moral

agency. *Journal of Moral Education*, 31(2), 101–119.

Barr, S., Shaw, G., Coles, T., & Prillwitz, J. (2010). 'A holiday is a holiday': Practising sustainability, home and away. *Journal of Transport Geography*, 18(3), 474–481.

Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77–101.

Charmaz, K. (2014). *Constructing grounded theory* (2nd ed.). Sage.

Cialdini, R. (2007). *Influence: The psychology of persuasion* (rev. ed.). HarperCollins.

Cohen, E. (2008). The changing faces of contemporary tourism. *Society*, 45(4), 330–333.

Cohen, E., & Cohen, S. A. (2019). Tourism consumption, representations, and embodiment. In A. Lew, C. M. Hall, & A. M. Williams (Eds.), *The Wiley Blackwell companion to tourism* (2nd ed., pp. 357–369). Wiley.

Cole, S. (2012). A political ecology of water equity and tourism: A case study from Bali. *Annals of Tourism Research*, 39(2), 1221–1241.

Davis, D., & Tisdell, C. (1995). Recreational scuba-diving and carrying capacity in marine protected areas. *Ocean & Coastal Management*, 26(1), 19–40.

Doan, M. T., Tran, V.-H., Nguyen, M.-D., Vo, T.-N., & Nguyen (2025). Enhancing tourists' responsible consumption behavior in climate-induced areas: Insights from tour guides. *Journal of Travel Research*. <https://doi.org/10.1177/00472875251380175>

Feinberg, M., & Willer, R. (2015). From gulf to bridge: When do moral arguments facilitate political influence? *Personality and Social Psychology Bulletin*, 41(12), 1665–1681. <https://doi.org/10.1177/0146167215607842>

Gössling, S., & Hall, C. M. (2021). *The sustainable chef: The environment in culinary arts, restaurants, and hospitality*.

Routledge.

Gössling, S. (2005). *Tourism's contribution to global environmental change: space, energy, disease, water*. CABI Digital.

Hall, C. M., Gössling, S., & Scott, D. (2015). *Tourism and sustainability*. Routledge.

Ham, S. (2007). Can interpretation really make a difference? Answers to four questions from cognitive and behavioural psychology. In *Proceedings of the Interpreting World Heritage Conference*. Cavtat, Croatia.

Hennink, M. M., Kaiser, B. N., & Marconi, V. C. (2017). Code saturation versus meaning saturation. *Qualitative Health Research*, 27(4), 591–608.

Higham, J., Reis, A., & Cohen, S. A. (2016). Australian climate concern and the 'attitude-behaviour gap'. *Current Issues in Tourism*, 19(4), 338-354.

Hunter, C. (2002). Sustainable tourism and the touristic ecological footprint. *Environment, development and sustainability*, 4(1), 7-20.

Juvan, E., & Dolnicar, S. (2016). Measuring environmentally sustainable behaviour of tourists. *Annals of Tourism Research*, 59, 30–44.

MacCannell, D. (1999). *The tourist: A new theory of the leisure class* (3rd ed.). University of California Press.

Mkono, M. (2019). Neo-colonialism and greed: Africans' views on trophy hunting in social media. *Journal of Sustainable Tourism*, 27(5), 689-704.

Moscardo, G. (1996). Mindful visitors: Heritage and tourism. *Annals of Tourism Research*, 23(2), 376–397.

Nowell, L. S., Norris, J. M., White, D. E., & Moules, N. J. (2017). Thematic analysis: striving to meet the trustworthiness criteria. *International Journal of Qualitative Methods*, 16(1), 1–13.

Packer, J., Ballantyne, R., & Hughes, K. (2014). Chinese and Australian

tourists' attitudes to nature, animals and environmental issues: Implications for the design of nature-based tourism experiences. *Tourism Management*, 44, 101-107.

Rabotić, B. (2010). Tourist guides in contemporary tourism. In *International conference on tourism and environment* (pp. 353-364).

Reisinger, Y., & Steiner, C. (2006). Reconceptualising interpretation: The role of tour guides in authentic tourism. *Current issues in tourism*, 9(6), 481-498.

Scheyvens, R., & Biddulph, R. (2018). Inclusive tourism development. *Tourism Geographies*, 20(4), 589–609.

Shaw, S., Bagwell, S., & Karmowska, J. (2004). Ethnoscapes as spectacle: Reimagining multicultural districts as new destinations for leisure and tourism consumption. *Urban studies*, 41(10), 1983-2000.

Thaler, R. H., & Sunstein, C. R. (2008). *Nudge: Improving decisions about health, wealth, and happiness*. Yale University Press.

Sin, H. L. (2009). Volunteer tourism—"Involve me and I will learn"? *Annals of Tourism Research*, 36(3), 480–501.

UNODC. (2021). *World wildlife crime report*. United Nations.

UNWTO. (2022). *Tourism for sustainable development*. United Nations.

Weiler, B., & Black, R. (2015). *Tour guiding research: Insights, issues and implications*. Channel View Publications.

Whitmarsh, L., & O'Neill, S. (2010). Green identity, green living? The role of pro-environmental self-identity in determining consistency across diverse pro-environmental behaviours. *Journal of Environmental Psychology*, 30(3), 305–314.

Winter, T. (2009). The modernities of heritage and tourism: interpretations of an Asian future. *Journal of Heritage Tourism*, 4(2), 105-115.

ĐẦU TƯ VÀ TÀI TRỢ CHO VĂN HÓA Ở HÀN QUỐC: KINH NGHIỆM VÀ GỢI MỞ CHO VIỆT NAM

Nguyễn Thị Thu Trang¹, Nguyễn Thị Lan Hương²

¹*Viện Văn hóa, Nghệ thuật, Thể thao và Du lịch Việt Nam, Bộ Văn hóa, Thể thao và Du lịch*

²*Ban Tuyên giáo và Dân vận Trung ương*

*Email: nguyenlanhuongvicas@gmail.com

TÓM TẮT

Hàn Quốc có thể xem là một hình mẫu rất thành công trong việc chuyển hóa văn hóa thành “quyền lực mềm” và động lực kinh tế thông qua các chính sách đầu tư văn hóa chiến lược, trong đó chính phủ đóng vai trò kiến tạo thể chế, chính sách, cơ sở hạ tầng, đầu tư ngân sách... Những bài học kinh nghiệm của Hàn Quốc có giá trị gợi ý cho Việt Nam về sự cần thiết của cách tiếp cận đa chiều, kết hợp hiệu quả nguồn lực nhà nước và khu vực tư nhân trong phát triển văn hóa, thành lập các quỹ phát triển văn hóa linh hoạt, đầu tư có trọng điểm vào các ngành công nghiệp văn hóa tiềm năng...

Từ khóa: Chuyển hóa văn hóa, công nghiệp văn hóa, làn sóng Hàn Quốc.

ABSTRACT

Korea is regarded as a highly successful model in transforming culture into 'soft power' and an economic driver through strategic cultural investment policies, where the government plays a constructive role in establishing institutions, policies, infrastructure, and budget allocation. Korea's lessons offer valuable insights for Vietnam on the necessity of a multi-dimensional approach, effectively combining state and private sector resources in cultural development, establishing flexible cultural development funds, making focused investment in potential cultural industries...

Keywords: Cultural transformation, cultural industry, Korean wave

Ngày nhận bài: 07/11/2025; **Ngày sửa bài:** 05/12/2025; **Ngày duyệt đăng:** 20/12/2025

1. Đặt vấn đề

Trong bối cảnh toàn cầu hóa và hội nhập quốc tế ngày càng sâu rộng, văn hóa không chỉ là biểu tượng của bản sắc dân tộc mà còn trở thành một ngành công nghiệp chiến lược, đóng góp lớn vào tăng trưởng kinh tế và nâng cao vị thế quốc gia. Đầu tư và tài trợ cho văn hóa vì thế không còn đơn thuần là một trách nhiệm xã hội, mà đã được nhiều quốc gia coi là yếu tố cốt lõi để phát triển bền vững. Trong số đó, Hàn Quốc nổi bật như một hình mẫu thành công nhờ các chính sách đầu tư văn hóa chiến lược từ thập niên

1990, kết hợp huy động khu vực tư nhân, hợp tác quốc tế và ứng dụng công nghệ số. Các quỹ nghệ thuật, ưu đãi thuế và phát triển công nghiệp văn hóa như âm nhạc, điện ảnh, thời trang đã giúp lan tỏa mạnh mẽ “làn sóng Hàn Quốc” (Hallyu) toàn cầu, mang lại lợi ích kinh tế lớn. Ở Việt Nam, quan điểm về phát triển công nghiệp văn hóa đã được hình thành từ năm 1986, theo đó vai trò kinh tế của văn hóa, của các ngành công nghiệp văn hóa ngày càng được nhận thức rõ, triển khai trong thực tế và đạt được một số thành tựu nhất định về xây dựng chính sách, những

bước tiến mới thị trường công nghiệp văn hóa và đóng góp tích cực vào tăng trưởng GDP của cả nước... Tuy nhiên, các ngành công nghiệp văn hóa ở Việt Nam hiện vẫn đang đối mặt với những thách thức, nút thắt trong quá trình phát triển, như chính sách chưa đồng bộ, thiếu các cơ chế thích hợp, hạn chế trong hợp tác công - tư... Trong bối cảnh đó, nghiên cứu mô hình đầu tư và tài trợ cho văn hóa của Hàn Quốc, qua đó rút ra một số bài học, kinh nghiệm thực tiễn trong xây dựng chiến lược đầu tư, phát triển văn hóa hiệu quả, phù hợp với tình hình và mục tiêu phát triển của Việt Nam để công nghiệp văn hóa có thể “cắt cánh” được trong tương lai không xa, đóng góp quan trọng vào sự phát triển bền vững của đất nước thực sự là vấn đề cấp thiết trong xu hướng chung của thế giới.

1. Một số chính sách đầu tư và tài trợ cho văn hóa tại Hàn Quốc

Từ thập niên 1990, Hàn Quốc định hướng văn hóa thành ngành công nghiệp mũi nhọn, đóng vai trò quan trọng trong kinh tế và ngoại giao. Cột mốc đáng chú ý là ngày 18/5/1994, Bộ trưởng Khoa học kỹ thuật Hàn Quốc Lee Sang Hee đã báo cáo với Tổng thống Kim Young Sam về hiện tượng bộ phim “Jurassic Park”: “Chỉ trong một năm, lợi nhuận từ Jurassic Park đã lên tới 850 triệu USD. Con số này tương đương với lợi nhuận thu được khi xuất khẩu 1,5 triệu chiếc xe ô tô”... Phép so sánh này đã khiến cho hơn 20 doanh nghiệp lớn của Hàn Quốc bao gồm cả Daewoo, SKC, Saehan... tiến quân sang lĩnh vực điện ảnh¹... Kể từ đó, chính phủ Hàn Quốc đã đẩy mạnh hỗ trợ thông qua việc ban hành luật pháp, gia tăng ngân sách và xây dựng cơ sở hạ tầng.

Năm 1998, Chính quyền của Tổng thống Kim Dae-jung đã công bố Kế hoạch Phát triển Hỗ trợ ngành Công nghiệp Hallyu, nhằm mục đích tăng giá trị của ngành công nghiệp văn hóa Hàn Quốc. Vào thời điểm đó, chính phủ Hàn Quốc đã mở rộng ngân sách cho ngành công nghiệp văn hóa từ 14 triệu đô la Mỹ năm 1998 lên 84 triệu đô la

Mỹ năm 2001². Chính quyền Roh Moo-hyun tiếp tục hỗ trợ các công ty khởi nghiệp văn hóa, đầu tư vào sáng kiến cải thiện ngành và ban hành luật bảo vệ thị trường nội địa.

Dưới thời Tổng thống Lee Myung-bak (2008–2013), Hàn Quốc thúc đẩy kinh tế sáng tạo qua chiến lược xây dựng thương hiệu quốc gia, tích hợp các yếu tố kinh tế, chính trị và văn hóa để khẳng định bản sắc dân tộc trong môi trường toàn cầu hóa. Khái niệm “Hàn Quốc toàn cầu” không chỉ nhấn mạnh vị thế quốc gia mà còn tận dụng sức mạnh mềm như một công cụ chiến lược. Sách Trắng Ngoại giao năm 2010 khẳng định văn hóa là yếu tố cốt lõi trong khả năng cạnh tranh và tạo giá trị gia tăng cho nền kinh tế.

Chính phủ Hàn Quốc đã thúc đẩy Hallyu như một nguồn thu nhập chủ lực, mở rộng từ âm nhạc, phim ảnh đến nghệ thuật và công nghệ, kết hợp chặt chẽ với ngành du lịch. Các chính sách như “Hàn Quốc sáng tạo” (2004) và “C-Korea 2010” thể hiện tầm nhìn văn hóa là động lực phát triển xã hội, nâng cao chất lượng sống. Theo báo cáo của Bộ Văn hóa, Thể thao và Du lịch Hàn Quốc, giá trị xuất khẩu của các nội dung văn hóa đã tăng ấn tượng, đạt hơn 4,6 tỷ USD vào năm 2011, phản ánh sự thành công của chính sách ngoại giao văn hóa trong việc tận dụng sức mạnh mềm để tạo dựng vị thế quốc gia³.

Đến tháng 6/2013, Chính phủ Hàn Quốc chính thức vào cuộc, nắm vai trò “nhạc trưởng” chỉ huy màn trình diễn ngoạn mục của làn sóng Hallyu với Kế hoạch hành động để xây dựng một hệ sinh thái công nghiệp sáng tạo, “mở ra kỷ nguyên hạnh phúc cho mỗi người dân Hàn Quốc thông qua nền kinh tế sáng tạo”⁴. Bộ Văn hoá, Thể thao và Du lịch Hàn Quốc đã chi khoảng 319 tỷ won (tương đương 280 triệu đô la Mỹ) cho quảng bá văn hóa, du lịch ra nước ngoài⁵. Kế hoạch hành động đặt ra 3 mục tiêu:

1. Tạo việc làm mới và thị trường mới thông qua sáng tạo và đổi mới.
2. Khẳng định sức mạnh mềm Hàn Quốc

trong vai trò lãnh đạo, dẫn dắt xu thế phát triển toàn cầu với sức ảnh hưởng của những thành tựu kinh tế sáng tạo.

3. Xây dựng một xã hội ưu việt nơi sáng tạo được tôn vinh và là động lực phát triển.

Hơn 20 hiệp hội, liên đoàn các ngành công nghiệp sáng tạo, trung tâm sáng tạo và bản quyền là các cơ quan kết nối, xúc tiến thương mại, hỗ trợ doanh nghiệp nhỏ và vừa, thúc đẩy hợp tác quốc tế phục vụ sự phát triển của các ngành công nghiệp sáng tạo liên tiếp được thành lập sau đó. Tiêu biểu là Trung tâm Sáng tạo nội dung Hàn Quốc (Korea Creative Content Agency KOCCA). Đây là cơ quan chuyên hỗ trợ và thúc đẩy tất cả các hoạt động cho ngành công nghiệp sáng tạo nội dung bao gồm hoạt hình, phim điện ảnh và truyền hình, K-pop, trò chơi giải trí bằng cách thiết lập một hệ thống doanh nghiệp, hệ thống các chỉ số thống kê, đánh giá hiệu quả hoạt động và mạng lưới hỗ trợ doanh nghiệp với các khoản đầu tư, cho vay ưu đãi⁶.

2. Thực trạng đầu tư và tài trợ cho văn hóa tại Hàn Quốc

2.1. Đầu tư công từ chính phủ

Ngay từ những năm 1990, Hàn Quốc đã nhận thức rõ vai trò chiến lược của văn hóa trong phát triển kinh tế và nâng cao vị thế quốc gia. Vì thế, trong năm 1997, Hàn Quốc đã đầu tư 108 tỉ won (113,4 triệu đô la) cho công tác bảo tồn các di sản văn hóa và 73.3 triệu đô la cho hoạt động của các bảo tàng quốc gia và 26,1 triệu đô la để duy trì các bảo tàng dân tộc⁷... Ngân sách quốc gia cho văn hóa nghệ thuật tăng đáng kể từ 0,6% năm 1998 lên 1,05% năm 2005. Trong năm 2005, chỉ tính riêng lĩnh vực nghệ thuật biểu diễn đã nhận được khoản ngân sách 168,2 tỉ won (tương đương với 172,3 triệu đô la Mỹ). Chính phủ cũng đã xây dựng cơ sở hạ tầng, hình thành nhiều quỹ cho văn hóa nghệ thuật, cải tạo và nâng cấp nhiều trung tâm biểu diễn văn hóa nhỏ, đảm bảo điều kiện vật chất cho các địa điểm biểu diễn và quảng bá, thúc đẩy văn hóa nghệ thuật thông qua nhiều hoạt động, sự kiện⁸.

Ngoài ra, Chính phủ Hàn Quốc cũng đầu tư xây dựng cơ sở hạ tầng hiện đại như: trung tâm nghệ thuật, bảo tàng quốc gia, hỗ trợ xây dựng các trung tâm văn hóa đa chức năng như Seoul Arts Center và Korea Manhwa Museum... cùng với việc tài trợ cho các sự kiện văn hóa quốc tế, giúp Hàn Quốc khẳng định vị thế trên trường quốc tế. Các chương trình đào tạo nghệ sĩ và hỗ trợ cộng đồng sáng tạo cũng nhận được nguồn kinh phí đáng kể, tạo ra một hệ sinh thái bền vững cho ngành văn hóa

Tỷ lệ tăng ngân sách còn cho thấy chính phủ xem trọng văn hóa không chỉ là một ngành kinh tế mà còn như một công cụ ngoại giao mềm. Việc đẩy mạnh các chương trình hợp tác quốc tế và xuất khẩu văn hóa đã mang lại những hiệu quả to lớn, minh chứng qua làn sóng Hallyu, đưa văn hóa Hàn Quốc trở thành hiện tượng toàn cầu.

2.2. Các quỹ hỗ trợ nghệ thuật tại Hàn Quốc

Quỹ Nghệ thuật Hàn Quốc (Arts Council Korea - ARKO) đóng vai trò quan trọng trong việc tài trợ và phát triển ngành nghệ thuật ở Hàn Quốc. Được thành lập vào năm 1961, ARKO nỗ lực thúc đẩy năng lực của nghệ thuật Hàn Quốc và nâng cao khả năng cạnh tranh quốc tế bằng cách hỗ trợ các dự án và chương trình trao đổi văn hóa và nghệ thuật quốc tế trong và ngoài nước trong khu vực tư nhân, bao gồm các dự án nghiên cứu, hợp tác trao đổi và mời các nghệ sĩ trong lĩnh vực văn học, nghệ thuật thị giác và nghệ thuật biểu diễn (khiêu vũ, sân khấu, âm nhạc và nghệ thuật truyền thống). ARKO đã ký kết thỏa thuận với các tổ chức như Maison des Cultures du Monde và European Broadcasting Union để phát triển một nền tảng không dễ tiếp cận đối với các nghệ sĩ cá nhân nhằm cung cấp nhiều cơ hội trao đổi quốc tế khác nhau⁹. ARKO quản lý các quỹ trực tiếp dành cho nghệ sĩ và các tổ chức, đồng thời hỗ trợ các sáng kiến quốc tế nhằm thúc đẩy văn hóa Hàn Quốc ra thế giới. Một trong những dự án nổi bật mà ARKO hỗ trợ là Quỹ Sáng tạo Nghệ thuật, được thiết kế

để hỗ trợ nghệ sĩ ở nhiều lĩnh vực từ nghệ thuật thị giác đến nghệ thuật biểu diễn. Các quỹ này không chỉ giúp nghệ sĩ có thêm nguồn tài chính để thực hiện các dự án cá nhân mà còn cung cấp cơ hội tham gia các hoạt động đào tạo và hợp tác quốc tế. Thông qua những chương trình tài trợ như vậy, ARKO đóng góp vào việc hình thành một hệ sinh thái nghệ thuật bền vững tại Hàn Quốc, đồng thời tạo ra cơ hội để nghệ sĩ và các tổ chức văn hóa của Hàn Quốc phát triển và lan tỏa văn hóa quốc gia ra toàn cầu.

2.3. Huy động đầu tư tư nhân

Hàn Quốc đã thành công trong việc huy động sự tham gia của khu vực tư nhân vào việc tài trợ cho các hoạt động văn hóa thông qua sự đóng góp của các tập đoàn lớn như Samsung, LG, Hyundai, và các công ty đa quốc gia khác. Các tập đoàn này không chỉ đóng góp tài chính cho các sự kiện văn hóa lớn mà còn tài trợ cho các bảo tàng, triển lãm, và các hoạt động nghệ thuật đương đại. Chẳng hạn, Samsung đã tài trợ cho các triển lãm nghệ thuật tại Bảo tàng Nghệ thuật Samsung, trong khi Hyundai hỗ trợ các dự án nghệ thuật đương đại và các sự kiện văn hóa quốc tế, tạo điều kiện cho nền văn hóa Hàn Quốc tiếp cận với công chúng toàn cầu. Ngoài các hoạt động tài trợ trực tiếp, các doanh nghiệp lớn tại Hàn Quốc còn tham gia vào việc phát triển các cơ sở văn hóa như: xây dựng các khu tổ hợp nghệ thuật, rạp chiếu phim và trung tâm biểu diễn. Việc tham gia của các Tập đoàn này không chỉ giúp thúc đẩy nền văn hóa mà còn tạo ra môi liên kết bền vững giữa văn hóa và kinh tế, góp phần phát triển hình ảnh Hàn Quốc trên trường quốc tế.

Bên cạnh đó, chính phủ Hàn Quốc cũng áp dụng chính sách ưu đãi thuế để khuyến khích các doanh nghiệp đầu tư vào lĩnh vực văn hóa. Ngoài ra, các doanh nghiệp đóng góp tài chính cho các dự án văn hóa có thể được giảm thuế, điều này giúp họ có thêm động lực để tiếp tục hỗ trợ và tham gia vào các sáng kiến văn hóa. Chính sách ưu đãi thuế này không chỉ làm tăng số lượng các

dự án được tài trợ mà còn tạo ra sự tương tác tích cực giữa khu vực công và tư trong việc phát triển các ngành công nghiệp văn hóa. Những chính sách này đã giúp Hàn Quốc thu hút đầu tư mạnh mẽ vào ngành văn hóa, đồng thời nâng cao sức mạnh mềm và giá trị thương hiệu quốc gia trên thị trường toàn cầu.

Nhờ vào sự hỗ trợ từ khu vực tư nhân và các chính sách ưu đãi, Hàn Quốc đã xây dựng được một mô hình phát triển văn hóa toàn diện, nơi mà các doanh nghiệp đóng vai trò không thể thiếu trong việc bảo tồn và phát triển nghệ thuật cũng như nâng cao giá trị văn hóa quốc gia.

2.4. Ứng dụng công nghệ và truyền thông số

Hàn Quốc là một trong những quốc gia tiên phong trong việc áp dụng công nghệ số vào việc phát triển văn hóa. Đặc biệt, việc sử dụng các nền tảng trực tuyến như YouTube, Netflix và Spotify đã đóng vai trò quan trọng trong việc đưa văn hóa Hàn Quốc ra thế giới. Theo tài liệu từ KOFICE, sự gia tăng sử dụng dịch vụ OTT (Over-the-Top) toàn cầu đã làm thay đổi bối cảnh truyền thông, đặc biệt là đối với các sản phẩm video ngắn và các chiến lược video trên YouTube. Năm 2019, các studio kỹ thuật số nổi bật như 72 Seconds và WHYNOT MEDIA đã tạo ra những sản phẩm video ngắn chất lượng, thu hút sự chú ý trong và ngoài nước. 72 Seconds, chẳng hạn, đã được đề cử giải Emmy trong hạng mục phim ngắn trong hai năm liên tiếp, 2018 và 2019¹⁰. Mặc dù không giành giải thưởng song sự chú ý này vẫn cho thấy rõ tiềm năng và sự phát triển mạnh mẽ của ngành công nghiệp phim ngắn tại Hàn Quốc, được thúc đẩy bởi các nền tảng trực tuyến như YouTube.

Việc Hàn Quốc tích cực đầu tư vào hạ tầng kỹ thuật số và các nền tảng trực tuyến cũng tạo ra cơ hội lớn để các sản phẩm văn hóa như phim ảnh, âm nhạc và chương trình truyền hình được phân phối rộng rãi và tiếp cận công chúng toàn cầu. Các đài truyền hình lớn ở Hàn Quốc đã bắt đầu tận

dụng YouTube như một công cụ quan trọng để xây dựng lượng người hâm mộ cho các video phát sóng, thay vì dựa vào các đối tác truyền thông như SMR (Smart Media Rep). Việc này không chỉ tạo ra cơ hội cho các sản phẩm văn hóa được quảng bá một cách nhanh chóng, mà còn tạo ra một hệ sinh thái kỹ thuật số hiện đại giúp gia tăng sự hiện diện của văn hóa Hàn Quốc trên toàn cầu.

Chính phủ Hàn Quốc và các tập đoàn lớn như Samsung và Naver đã và đang đầu tư mạnh vào các nền tảng kỹ thuật số, củng cố nền tảng phân phối các sản phẩm văn hóa của họ. Điều này không chỉ thúc đẩy sự phát triển của các sản phẩm văn hóa trong nước, mà còn giúp các sản phẩm này dễ dàng tiếp cận khán giả quốc tế, góp phần vào việc xây dựng hình ảnh và ảnh hưởng toàn cầu của văn hóa Hàn Quốc.

Ngoài việc xây dựng hạ tầng kỹ thuật số, Hàn Quốc cũng chú trọng đến việc hỗ trợ các sáng kiến sáng tạo trong lĩnh vực văn hóa thông qua các quỹ đầu tư mạo hiểm. Các quỹ này cung cấp tài chính và nguồn lực cho các startup sáng tạo trong ngành công nghiệp văn hóa, đặc biệt là những doanh nghiệp có ý tưởng đổi mới trong việc áp dụng công nghệ vào sản phẩm văn hóa. Các startup này có thể nhận tài trợ để phát triển các sản phẩm văn hóa số như ứng dụng di động về nghệ thuật, trò chơi điện tử kết hợp với các yếu tố văn hóa truyền thống, hoặc các dự án kỹ thuật số giúp bảo tồn và giới thiệu di sản văn hóa. Chính phủ Hàn Quốc cùng với các quỹ đầu tư tư nhân đã xây dựng một hệ sinh thái hỗ trợ đổi mới sáng tạo trong ngành công nghiệp văn hóa, qua đó thúc đẩy sự phát triển của các ngành nghề sáng tạo và gia tăng giá trị văn hóa quốc gia.

Nhờ vào việc ứng dụng công nghệ số và hỗ trợ các startup sáng tạo, Hàn Quốc không chỉ mở rộng khả năng tiếp cận văn hóa mà còn tạo ra một môi trường năng động và sáng tạo, giúp văn hóa Hàn Quốc phát triển mạnh mẽ và trở thành một yếu tố quan trọng trong nền kinh tế sáng tạo toàn cầu.

3. Một vài gợi mở cho Việt Nam

3.1. Tăng cường đầu tư công trong phát triển văn hóa

Một trong những kinh nghiệm quan trọng mà Việt Nam có thể tham khảo từ Hàn Quốc là việc gia tăng vai trò của đầu tư công trong lĩnh vực văn hóa. Hàn Quốc đã chứng minh rằng, việc tăng ngân sách cho văn hóa không chỉ giúp bảo tồn di sản mà còn thúc đẩy sự phát triển của các ngành công nghiệp sáng tạo và nghệ thuật đương đại. Chính phủ Hàn Quốc đã liên tục nâng tỷ lệ ngân sách dành cho văn hóa qua các năm, với mục tiêu phát triển bền vững các giá trị văn hóa quốc gia.

Từ năm 2010, Chính phủ Hàn Quốc đã dành khoảng 1% tổng ngân sách quốc gia cho lĩnh vực văn hóa, một con số đáng kể so với nhiều quốc gia khác. Cụ thể, vào năm 2011, ngân sách của Bộ Văn hóa, Thể thao và Du lịch chiếm 1,09% trong tổng ngân sách quốc gia, đạt mức 3,37 nghìn tỷ won (tương đương 2,95 tỷ đô la Mỹ). Khoản ngân sách này không chỉ phục vụ cho công tác bảo tồn mà còn cho các hoạt động phát triển nghệ thuật đương đại và quảng bá văn hóa Hàn Quốc ra thế giới¹¹. Trong năm 2022, Bộ Văn hóa, Thể thao và Du lịch đã phân bổ hơn 7 nghìn tỷ won cho các dự án văn hóa, trong đó bao gồm 2,4 nghìn tỷ won dành cho hỗ trợ sản xuất nội dung văn hóa và đẩy mạnh sự phát triển của Hallyu. Chính phủ Hàn Quốc còn đầu tư mạnh mẽ vào các sáng kiến mới, như sản xuất nội dung cho metaverse và bảo vệ quyền sở hữu trí tuệ trong lĩnh vực văn hóa, cho thấy tầm quan trọng của việc đầu tư công vào văn hóa đối với sự phát triển toàn diện của quốc gia¹².

Một bước đi quan trọng nữa là việc thành lập các quỹ hỗ trợ nghệ thuật như Arts Council Korea, tổ chức tài trợ chính thức cho các dự án nghệ thuật, chương trình biểu diễn và sáng kiến sáng tạo. Việt Nam có thể học hỏi mô hình này để thành lập một quỹ tương tự, giúp hỗ trợ nghệ sĩ và các tổ chức văn hóa trong việc thực hiện các sáng kiến sáng tạo, bảo tồn di sản, và phát triển các

hình thức nghệ thuật đương đại. Một quỹ hỗ trợ như vậy sẽ đóng vai trò quan trọng trong việc khuyến khích sự sáng tạo và đổi mới, đồng thời đảm bảo rằng các sản phẩm văn hóa Việt Nam có thể phát triển bền vững trong tương lai.

Từ kinh nghiệm, mô hình của Hàn Quốc, thời gian tới, Việt Nam cần nâng cao hơn nữa vai trò của chính phủ trong việc định hướng và hỗ trợ đầu tư văn hóa, thông qua việc gia tăng ngân sách, xây dựng các quỹ hỗ trợ nghệ thuật và tạo môi trường pháp lý thuận lợi để thúc đẩy sự tham gia của khu vực tư nhân.

3.2. Thúc đẩy hợp tác công - tư trong phát triển văn hóa

Một trong những bài học từ mô hình thành công của Hàn Quốc là khuyến khích đầu tư tư nhân vào các dự án văn hóa thông qua chính sách ưu đãi thuế. Các doanh nghiệp lớn tại Hàn Quốc như Samsung, LG, và Hyundai đã đóng góp tài chính không chỉ cho các hoạt động văn hóa mà còn tham gia vào việc phát triển các cơ sở văn hóa, bảo tàng và sự kiện nghệ thuật. Nhiều sự kiện văn hóa lớn như Liên hoan phim Quốc tế Busan và các chương trình nghệ thuật khác của Hàn Quốc do Samsung là đối tác tài trợ chính. Tương tự như vậy, LG cũng tham gia tài trợ cho các triển lãm nghệ thuật và hỗ trợ các sáng kiến văn hóa cộng đồng. Theo đó, Việt Nam có thể áp dụng chính sách ưu đãi thuế tương tự để khuyến khích các doanh nghiệp đóng góp cho sự phát triển văn hóa. Việc giảm thuế cho các doanh nghiệp tài trợ cho nghệ thuật sẽ tạo động lực cho họ tham gia vào các sáng kiến văn hóa, từ đó giúp mở rộng nguồn tài trợ và hỗ trợ các dự án nghệ thuật sáng tạo trong nước.

Bên cạnh việc xây dựng các chính sách ưu đãi thuế, việc hình thành cơ chế hợp tác công - tư cũng là một giải pháp quan trọng. Tại Hàn Quốc, Chính phủ hỗ trợ doanh nghiệp bằng chính sách ưu đãi, trong khi doanh nghiệp đóng góp tài chính và tài nguyên, tạo nên mô hình hợp tác bền vững, nâng cao chất lượng và tầm ảnh hưởng của

sản phẩm văn hóa. Việt Nam có thể học hỏi mô hình này để triển khai dự án văn hóa, thúc đẩy ngành công nghiệp văn hóa phát triển bền vững, đồng thời nâng cao giá trị văn hóa quốc gia và tạo cơ hội mới cho doanh nghiệp, nghệ sĩ... đóng góp vào kinh tế và văn hóa đất nước.

Trong thời gian tới, Việt Nam cần khuyến khích hợp tác công - tư một cách mạnh mẽ và sáng tạo, học hỏi từ các cơ chế tài trợ linh hoạt của Hàn Quốc như: ưu đãi thuế và liên kết doanh nghiệp. Điều này không chỉ giúp giảm áp lực lên ngân sách nhà nước mà còn mở rộng nguồn lực cho văn hóa.

3.3. Đẩy mạnh ứng dụng công nghệ và quảng bá quốc tế

Để phát triển văn hóa bền vững và nâng cao giá trị văn hóa Việt Nam trên trường quốc tế, việc đầu tư vào hạ tầng kỹ thuật số là yếu tố quan trọng không thể thiếu. Hạ tầng kỹ thuật số, bao gồm các nền tảng truyền thông xã hội, dịch vụ phát trực tuyến, và các ứng dụng di động. Các dự án số hóa di sản văn hóa, bảo tàng trực tuyến và ứng dụng di động về văn hóa sẽ giúp mở rộng phạm vi tiếp cận và nâng cao sự hiểu biết về văn hóa Việt Nam.

Việt Nam cũng cần đẩy mạnh đầu tư vào các công nghệ số để đưa các sản phẩm văn hóa như phim ảnh, âm nhạc và các chương trình truyền hình đến với khán giả toàn cầu, qua đó nâng cao giá trị văn hóa và tăng cường sự hiện diện của văn hóa Việt Nam trên các nền tảng quốc tế như Netflix, YouTube, và Spotify... Các sáng kiến kỹ thuật số có thể bao gồm việc phát triển các ứng dụng văn hóa, các kênh truyền thông trực tuyến và việc xây dựng các nền tảng riêng để giới thiệu các sản phẩm nghệ thuật Việt Nam.

Bên cạnh đó, việc học hỏi từ chiến lược quảng bá văn hóa toàn cầu của Hàn Quốc thông qua làn sóng Hallyu là một gợi ý quan trọng cho Việt Nam. Hàn Quốc với chiến lược Hallyu (Làn sóng Hàn Quốc) đã thành công trong việc xuất khẩu văn hóa thông qua âm nhạc, phim ảnh và nghệ thuật

biểu diễn, khiến Việt Nam phải đối mặt với một đối thủ cạnh tranh mạnh mẽ trong việc quảng bá văn hóa quốc gia. Hallyu không chỉ “làm mưa làm gió” trên thị trường âm nhạc thế giới mà còn là một công cụ chiến lược hiệu quả trong việc tăng cường ảnh hưởng văn hóa của Hàn Quốc toàn cầu. Việt Nam có thể áp dụng những chiến lược tương tự bằng cách xây dựng các chiến dịch quảng bá văn hóa Việt Nam, chú trọng vào những sản phẩm văn hóa đặc trưng như âm nhạc, điện ảnh, ẩm thực, du lịch đồng thời kết hợp với các nền tảng kỹ thuật số để gia tăng khả năng tiếp cận toàn cầu. Các chiến dịch này không chỉ giúp giới thiệu vẻ đẹp văn hóa Việt mà còn tạo dựng thương hiệu, nâng cao vị thế quốc gia và phát triển bền vững trong nền kinh tế sáng tạo toàn cầu.

Tựu chung, Việt Nam cần tập trung đẩy mạnh đầu tư vào công nghệ số và truyền thông số để quảng bá và phát triển các sản phẩm văn hóa. Việc xây dựng các nền tảng kỹ thuật số không chỉ mở rộng thị trường tiêu thụ mà còn tạo điều kiện thuận lợi để kết nối với cộng đồng quốc tế.

3.4. Phát triển các ngành công nghiệp văn hóa tiềm năng

Một trong những chiến lược quan trọng để phát triển ngành công nghiệp văn hóa tại Việt Nam là cần xác định và tập trung phát triển những lĩnh vực văn hóa có tiềm năng lớn, tiềm năng xuất khẩu và quảng bá văn hóa cao như: điện ảnh, âm nhạc và du lịch văn hóa theo hướng gắn kết với các giá trị văn hóa truyền thống Việt Nam. Những ngành này không chỉ có khả năng tạo ra giá trị kinh tế đáng kể mà còn góp phần quan trọng trong việc quảng bá hình ảnh đất nước ra thế giới. Điện ảnh Việt Nam thời gian qua đã có những bước tiến lớn với các bộ phim quốc tế được công nhận, chúng ta có thể học hỏi và phát triển thêm các thể loại phim có chất lượng, đặc biệt là phim tài liệu, phim truyện và phim hoạt hình để phục vụ nhu cầu giải trí quốc tế và phát triển ngành công nghiệp điện ảnh trong nước. Âm nhạc Việt Nam với những giai điệu đặc trưng và sự

phát triển mạnh mẽ của dòng nhạc trẻ hiện nay cũng là một ngành có tiềm năng lớn để phát triển thành một phần của nền kinh tế sáng tạo, giúp đưa âm nhạc Việt ra thế giới thông qua các nền tảng trực tuyến và các lễ hội âm nhạc quốc tế. Du lịch văn hóa cũng đóng một vai trò quan trọng trong chiến lược phát triển ngành công nghiệp văn hóa bởi Việt Nam sở hữu một kho tàng di sản văn hóa phong phú, từ các di tích lịch sử đến các làng nghề truyền thống, tạo nên những trải nghiệm du lịch đặc biệt; kết hợp du lịch với các yếu tố văn hóa như tham quan di sản, thưởng thức ẩm thực và tham gia vào các lễ hội văn hóa sẽ giúp Việt Nam thu hút du khách quốc tế và phát triển nền kinh tế du lịch bền vững.

Nhìn chung, việc kết hợp giữa giá trị văn hóa truyền thống và sáng tạo hiện đại là yếu tố then chốt trong việc phát triển ngành công nghiệp văn hóa tại Việt Nam. Các sản phẩm văn hóa hiện đại có thể được xây dựng từ nền tảng văn hóa truyền thống, chẳng hạn như những sản phẩm âm nhạc, điện ảnh thành công gần đây đều khai thác các giá trị văn hóa truyền thống của dân tộc; hay như việc ứng dụng công nghệ số trong việc bảo tồn và quảng bá di sản văn hóa, hoặc sáng tạo. Những sáng tạo này không chỉ giúp bảo tồn giá trị văn hóa mà còn tạo ra những sản phẩm hấp dẫn cho công chúng hiện đại, đồng thời củng cố, làm giàu bản sắc văn hóa Việt Nam trong bối cảnh toàn cầu hóa.

Thay lời kết

Thực trạng đầu tư và tài trợ văn hóa ở Việt Nam hiện vẫn còn gặp nhiều khó khăn và thách thức. Dù đã có những nỗ lực ban đầu trong việc huy động nguồn lực và xây dựng cơ chế hỗ trợ, nhưng sự hạn chế về ngân sách, thiếu sự liên kết giữa các bên liên quan và khoảng trống trong chính sách dài hạn đã khiến tiềm năng văn hóa chưa được khai thác tối ưu. Bên cạnh đó, các mô hình hiện tại chủ yếu tập trung vào bảo tồn thay vì phát triển khiến Việt Nam gặp khó khăn trong việc thúc đẩy các ngành công nghiệp văn hóa sáng tạo - một động lực tăng trưởng

quan trọng trong thời đại kinh tế số.

Hành trình phát triển của văn hóa Hàn Quốc từ một lĩnh vực ít được chú ý đến một ngành công nghiệp chiến lược là một minh chứng rõ ràng rằng: đầu tư và tài trợ bài bản, hiệu quả không chỉ bảo tồn được bản sắc văn hóa mà còn thúc đẩy sáng tạo, gia tăng giá trị kinh tế và nâng cao vị thế quốc gia trên trường quốc tế. Sự thành công của Hàn Quốc trong việc xây dựng các mô hình đầu tư văn hóa mang tính toàn diện và bền vững, từ các quỹ nghệ thuật, chính sách ưu đãi thuế, đến sự phối hợp nhịp nhàng giữa công - tư và ứng dụng công nghệ hiện đại đã trở thành nguồn cảm hứng cho nhiều quốc gia, đặc biệt là các nước đang phát triển như Việt Nam. Khi những gợi mở từ nghiên cứu mô hình đầu tư và tài trợ cho văn hóa của Hàn Quốc được triển khai thực hiện với tầm nhìn chiến lược, có lộ trình và bước đi rõ ràng, Việt Nam hoàn toàn có thể đưa văn hóa trở thành ngành công nghiệp phát triển như nhiều nước trên thế giới, ở đó vừa bảo tồn được bản sắc dân tộc vừa đáp ứng được các yêu cầu của thị trường toàn cầu. Thách thức lớn nhất không nằm ở nguồn lực, mà ở tư duy đổi mới và khả năng phối hợp giữa các bên liên quan. Chỉ khi tất cả các thành phần xã hội - từ chính phủ, doanh nghiệp, đến cộng đồng cùng chung tay thì văn hóa mới thực sự trở thành sức mạnh mềm, góp phần nâng cao vị thế của Việt Nam trên bản đồ thế giới.

Trong tương lai, sự thành công của Việt Nam trong lĩnh vực đầu tư và tài trợ cho văn hóa sẽ không chỉ là kết quả của việc học hỏi kinh nghiệm từ các quốc gia khác mà còn phụ thuộc vào khả năng sáng tạo, linh hoạt và thích nghi với bối cảnh địa phương. Đây là một hành trình dài và khó khăn nhưng hoàn toàn xứng đáng để đầu tư khi văn hóa là một trong những trụ cột quan trọng của sự phát triển bền vững./

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Nguyễn Thị Quý Phương (2021); Công nghiệp văn hóa ở Hàn Quốc, Nhật Bản, Trung Quốc: Họ thực hiện ra sao?;

<https://tuoitre.vn/cong-nghiep-van-hoa-o-han-quoc-nhat-ban-trung-quoc-ho-thuc-hien-ra-sao-2021112406535868.htm>.

[2]. Sue Mi Terry (2021); "The Korean Invasion: Can Cultural Exports Give South Korea a Geopolitical Boost?" Foreign Affairs; October 14, 2021

[3]. Ministry of Culture, Sports and Tourism (2012). Hallyu and Economic Growth Report.

[4]. Bộ Văn hóa, thể thao và du lịch (2016); Xu hướng phát triển của chính sách văn hóa Hàn Quốc; <https://bvhttdl.gov.vn/xu-huong-phat-trien-cua-chinh-sach-van-hoa-han-quoc-7747.htm>

[5]. Ingyu Oh (2014); K-pop in Korea: How the Pop Music Industry Is Changing a Post-Developmental Society, https://www.researchgate.net/publication/265835985_K-pop_in_Korea_How_the_Pop_Music_Industry_Is_Changing_a_Post-Developmental_Society

[6]. Nguyễn Thị Quý Phương (2021); Công nghiệp văn hóa ở Hàn Quốc, Nhật Bản, Trung Quốc: Họ thực hiện ra sao?; tài liệu đã dẫn

[7]. Bộ Văn hóa, thể thao và du lịch (2016); Xu hướng phát triển của chính sách văn hóa Hàn Quốc; <https://bvhttdl.gov.vn/xu-huong-phat-trien-cua-chinh-sach-van-hoa-han-quoc-7747.htm>

[8]. Bộ Văn hóa, thể thao và du lịch (2016); Xu hướng phát triển của chính sách văn hóa Hàn Quốc; <https://bvhttdl.gov.vn/xu-huong-phat-trien-cua-chinh-sach-van-hoa-han-quoc-7747.htm>

[9]. <https://www.arko.or.kr/eng/international/support>

[10]. <http://eng.kofice.or.kr/data>

[11]. Kim Yoon-mi (2011), Culture budget should double: minister; Korea Herald; Published : April 5, 2011 - 18:39; [https://www.koreaherald.com/view](https://www.koreaherald.com/view.php?ud=20210901000819)

[12]. Korea Herald (2021); Culture Ministry sets W7tr budget for 2022; Published : Sept. 1, 2021 - 15:28; <https://www.koreaherald.com/view.php?ud=20210901000819>

GIẢI THÍCH Ý ĐỊNH DU LỊCH CÓ TRÁCH NHIỆM CỦA DU KHÁCH TRÊN VỊNH BIỂN NHA TRANG

Lê Chí Công^{1*}, Trương Thị Thu Lành²

¹Khoa Du lịch, Trường Đại học Nha Trang

²Trường Đại học Tài Chính – Marketing; NCS. Trường Du lịch, Đại học Huế

*Email: conglechi@ntu.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu tập trung phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến ý định du lịch có trách nhiệm của du khách tại Vịnh Nha Trang, một không gian du lịch biển-đảo mang giá trị sinh thái đặc thù. Dựa trên lý thuyết hành vi có kế hoạch, khung S-O-R và cách tiếp cận về nhận thức rủi ro, mô hình nghiên cứu xem xét bốn biến: thái độ đối với du lịch có trách nhiệm, hình ảnh điểm đến vịnh biển, giá trị cá nhân và nhận thức rủi ro môi trường. Kết quả cho thấy phần lớn các yếu tố đều tác động tích cực đến ý định hành vi; riêng nhận thức rủi ro môi trường thể hiện mức ảnh hưởng khá mờ nhạt, gợi ý rằng du khách có xu hướng ưu tiên trải nghiệm và giá trị cá nhân hơn là lo ngại về rủi ro sinh thái khi đưa ra quyết định. Điểm mới của nghiên cứu nằm ở việc phân tích ý định du lịch có trách nhiệm trong bối cảnh một vịnh biển cụ thể thay vì tiếp cận tổng quát, qua đó làm rõ vai trò của thuộc tính điểm đến và các giá trị cá nhân trong định hình hành vi. Một số hàm ý quản lý và chính sách được đề xuất nhằm tăng cường sự tham gia của du khách vào các hoạt động du lịch sinh thái biển tại Vịnh Nha Trang.

Từ khóa: Du lịch có trách nhiệm; Hình ảnh điểm đến; Vịnh Nha Trang.

ABSTRACT

The study investigates the factors influencing tourists' intention to engage in responsible travel within Nha Trang Bay—an exceptional sea-island tourism space characterized by distinctive ecological values. Drawing on the Theory of Planned Behavior, the S-O-R framework, and the risk-perception perspective, the research model incorporates four key constructs: attitude toward responsible tourism, destination image of the bay, personal values, and environmental risk perception.

The findings reveal that most variables exert a positive influence on responsible travel intention, while environmental risk perception demonstrates only a marginal effect. This suggests that tourists often prioritize experiential value and personal value orientation over ecological risk concerns when forming travel decisions. The novelty of this research lies in examining responsible travel intention within the specific context of a bay destination rather than adopting a generalized approach, thereby highlighting the importance of destination characteristics and personal values in shaping tourist behavior. Based on the results, several managerial and policy implications are proposed to encourage greater participation in marine ecotourism and promote responsible behavior among visitors to Nha Trang Bay.

Keywords: Responsible tourism; Destination image; Nha Trang Bay.

Ngày nhận bài: 01/12/2025; **Ngày sửa bài:** 15/12/2025; **Ngày duyệt đăng:** 20/12/2025

1. MỞ ĐẦU

Du lịch có trách nhiệm ngày càng được xem như định hướng cốt lõi giúp các điểm đến phát triển hài hòa với môi trường và cộng đồng địa phương. Thay vì chú trọng vào tăng trưởng số lượng khách, cách tiếp cận này nhấn mạnh việc giảm thiểu tác động tiêu cực và thúc đẩy hành vi du lịch thân thiện với hệ sinh thái. Đối với Khánh Hòa – địa phương có hoạt động du lịch biển đảo sôi động – du lịch có trách nhiệm không chỉ là xu hướng mà còn là điều kiện bắt buộc để duy trì sức hấp dẫn của điểm đến và đảm bảo phát triển bền vững.

Vịnh Nha Trang, một trong những vịnh biển giàu giá trị sinh thái nhất Việt Nam, tiếp tục đóng vai trò động lực tăng trưởng cho du lịch Khánh Hòa. Chỉ trong hai tháng đầu năm 2025, địa phương đã đón hơn 1,9 triệu lượt khách lưu trú, trong đó gần một nửa là khách quốc tế. Sự trở lại của các chuyến tàu biển cao cấp với hơn 11.000 lượt khách giúp gia tăng lượng khách tham quan, nghỉ dưỡng và trải nghiệm biển, đóng góp trên 10.362 tỷ đồng cho ngành du lịch địa phương [6]. Tuy nhiên, tốc độ tăng trưởng mạnh mẽ này tạo sức ép ngày càng lớn lên tài nguyên, môi trường và văn hóa bản địa.

Tại các điểm tham quan ven vịnh – nơi diễn ra tắm biển, lặn ngắm san hô, thể thao biển và du ngoạn đảo – vẫn tồn tại nhiều hành vi du lịch thiếu trách nhiệm: xả rác, bẻ san hô, khai thác tự phát nguồn lợi biển, gây tiếng ồn hoặc ứng xử chưa phù hợp với cộng đồng địa phương. Những hành vi này không chỉ làm suy giảm chất lượng môi trường và cảnh quan mà còn đe dọa sự phục hồi của hệ sinh thái biển, ảnh hưởng tiêu cực đến hình ảnh điểm đến và trải nghiệm của du khách trong dài hạn.

Tổng quan các nghiên cứu trước đây cho thấy hành vi du lịch có trách nhiệm đã được khảo sát trong nhiều bối cảnh khác nhau. Tuy nhiên, đối với Vịnh Nha Trang – một không gian biển đảo có hệ sinh thái nhạy cảm và mật độ khai thác cao – các nghiên cứu vẫn còn hạn chế. Đặc biệt, hành vi du khách trong các hoạt động như tour bốn đảo, vốn tác động trực tiếp đến tài nguyên biển,

chưa được phân tích đầy đủ. Khoảng trống này ngày càng trở nên đáng chú ý khi lượng khách tăng nhanh, làm gia tăng áp lực lên tài nguyên môi trường.

Bên cạnh hạn chế về bối cảnh, mảng nghiên cứu này còn thiếu các mô hình tích hợp đa biến trong cùng một khuôn khổ lý thuyết thống nhất. Nhiều nghiên cứu chỉ áp dụng riêng rẽ TPB, S-O-R hoặc lý thuyết rủi ro, chưa xem xét sự kết hợp của thái độ đối với du lịch có trách nhiệm, hình ảnh điểm đến biển, giá trị cá nhân và nhận thức rủi ro môi trường trong cùng một mô hình. Việc tích hợp này không chỉ mở rộng cơ sở lý luận mà còn cho phép đánh giá đầy đủ tác động của từng yếu tố trong bối cảnh du lịch biển đặc thù – điểm mới quan trọng của nghiên cứu.

Về mặt thực tiễn, nghiên cứu mang ý nghĩa thiết thực trong bối cảnh Khánh Hòa định hướng phát triển du lịch biển đảo theo hướng xanh và có trách nhiệm. Các kết quả thu được có thể hỗ trợ chính quyền trong hoạch định chính sách, thiết kế chương trình truyền thông thay đổi hành vi du khách và định hướng doanh nghiệp khai thác du lịch theo hướng bền vững.

Từ những khoảng trống nêu trên, nghiên cứu được thực hiện với hai mục tiêu: (1) đánh giá mức độ ảnh hưởng của thái độ, hình ảnh điểm đến, giá trị cá nhân và nhận thức rủi ro môi trường đối với ý định tham gia du lịch có trách nhiệm; (2) đề xuất kiến nghị chính sách nhằm thúc đẩy hành vi du lịch có trách nhiệm của du khách nội địa tại Nha Trang. Bố cục bài viết gồm bốn phần: cơ sở lý thuyết và mô hình, phương pháp, kết quả và hàm ý chính sách.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ MÔ HÌNH NGHIÊN CỨU

2.1. Cơ sở lý thuyết

2.1.1. Du lịch có trách nhiệm

Du lịch có trách nhiệm đã được quan tâm từ những năm 1960. Du lịch có trách nhiệm được định nghĩa là “bất kỳ hình thức du lịch nào giúp tối đa hóa lợi ích cho cộng đồng địa phương và giảm thiểu tác động tiêu cực đến môi trường và văn hóa bản địa” [1]. Các

hoạt động này cần được thực hiện theo quy hoạch, chính sách và chiến lược phát triển nhằm đảm bảo lợi ích được tối ưu hóa và chia đều giữa các thành viên cộng đồng. Quan điểm khác bổ sung rằng du lịch có trách nhiệm không chỉ giảm thiểu tác động môi trường, tôn trọng đa dạng văn hóa mà còn tối đa hóa sự tham gia của người dân địa phương trong cung cấp dịch vụ và nâng cao sự hài lòng của khách du lịch [8]. Ngoài ra, du lịch có trách nhiệm hướng tới việc tạo ra lợi ích xã hội, bao gồm kinh tế, văn hóa và bảo tồn môi trường vật chất lẫn tự nhiên [9]. Khái niệm này làm rõ một số đặc điểm quan trọng: giảm tác động tiêu cực về kinh tế, môi trường và xã hội; tăng lợi ích kinh tế và phúc lợi cho cộng đồng địa phương; cải thiện điều kiện làm việc và tạo cơ hội tham gia vào các quyết định ảnh hưởng đến đời sống; bảo tồn di sản văn hóa, thiên nhiên và đa dạng sinh học; cung cấp trải nghiệm sâu sắc hơn cho du khách thông qua sự kết nối ý nghĩa với cộng đồng; tạo điều kiện thuận lợi cho người khuyết tật; đồng thời thúc đẩy tôn trọng lẫn nhau giữa du khách và cộng đồng địa phương, góp phần nâng cao niềm tự hào và tự tin của người dân về nơi họ sinh sống [10]. Như vậy, du lịch có trách nhiệm không chỉ là giảm thiểu tác động tiêu cực mà còn là công cụ thúc đẩy phát triển bền vững, kết nối du khách và cộng đồng, đồng thời nâng cao giá trị văn hóa, xã hội và môi trường tại điểm đến.

2.1.2. Một số khung lý thuyết có liên quan

Lý thuyết hành vi có kế hoạch (TPB)

Lý thuyết Hành vi có Kế hoạch (TPB) nhằm giải thích và dự đoán hành vi con người dựa trên các yếu tố tâm lý – xã hội [3]. Theo TPB, ba yếu tố chính ảnh hưởng đến ý định thực hiện hành vi gồm: (1) Thái độ đối với hành vi – đánh giá tích cực hay tiêu cực của cá nhân dựa trên niềm tin về hậu quả của hành vi; (2) Chuẩn mực chủ quan – áp lực xã hội từ người thân, bạn bè, đồng nghiệp, thúc đẩy cá nhân thực hiện hành vi để đáp ứng mong đợi; (3) Nhận thức kiểm soát hành vi – cảm nhận về khả năng kiểm soát và sự sẵn có của nguồn lực để

thực hiện hành vi. TPB được ứng dụng rộng rãi trong nghiên cứu hành vi con người, đặc biệt trong du lịch bền vững và du lịch xanh [11]. Áp dụng TPB giúp hiểu rõ cách các yếu tố tâm lý tác động đến quyết định của du khách trong việc bảo vệ môi trường, ủng hộ cộng đồng địa phương và tôn trọng văn hóa bản địa. Nhờ đó, TPB hỗ trợ xây dựng các chính sách và chiến lược hiệu quả, khuyến khích hành vi du lịch có trách nhiệm, góp phần phát triển du lịch bền vững, thân thiện và xã hội.

Khung lý thuyết (S-O-R)

Lý thuyết S-O-R được là một lý thuyết thuộc lĩnh vực tâm lý học, nhằm giải thích hành vi của một chủ thể bị ảnh hưởng như thế nào bởi kích thích bên ngoài và các yếu tố bên trong [4]. Theo lý thuyết này, những yếu tố từ môi trường bên ngoài như hình ảnh, quy định hay trải nghiệm có thể ảnh hưởng đến chủ thể (Organism), bao gồm cảm xúc, nhận thức và tâm trạng [12, 13]. Chính sự thay đổi bên trong chủ thể sẽ quyết định cách cá nhân tiếp nhận kích thích, từ đó hình thành các phản ứng hành vi như lựa chọn, đồng ý hay từ chối một hành động cụ thể [14]. Đến nay, lý thuyết SOR được sử dụng làm khung nền cho phát triển mô hình nghiên cứu trong lĩnh vực du lịch [14]. Để làm rõ và giải thích hành vi du khách bị ảnh hưởng như thế nào bởi yếu tố bên ngoài (hình ảnh điểm đến du lịch biển). Mô hình nghiên cứu được xây dựng bao gồm yếu tố môi trường bên ngoài (tác nhân kích thích), cảm nhận và sự hài lòng của hành khách, nhận thức giá trị, nhận thức rủi ro (phản ứng nội tại của chủ thể) và ý định tham gia du lịch có trách nhiệm trong kỳ tiếp theo (phản ứng của chủ thể).

Lý thuyết nhận thức rủi ro (PRT)

Lý thuyết PRT được khởi nguồn từ lĩnh vực hành vi người tiêu dùng vào thập niên 1960, do Bauer (1967) đề xuất, với quan điểm rằng mọi quyết định của con người đều hàm chứa yếu tố rủi ro, xuất phát từ sự không chắc chắn về kết quả và khả năng mất mát tiềm ẩn [15]. Theo đó, nhận thức rủi ro phản ánh sự đánh giá chủ quan của cá nhân về mức độ nghiêm trọng và khả năng xảy

ra của những hậu quả tiêu cực khi tham gia vào một hành vi cụ thể [16]. Trong bối cảnh du lịch, lý thuyết này được mở rộng để lý giải cách du khách đánh giá rủi ro về môi trường, sức khỏe, an toàn hoặc trải nghiệm khi lựa chọn điểm đến [17]. Các nghiên cứu gần đây cho thấy nhận thức rủi ro về môi trường có thể làm tăng ý định tham gia du lịch có trách nhiệm, gia tăng hành vi tiêu dùng xanh, hoặc ảnh hưởng đến mối quan hệ giữa thái độ và hành vi du lịch bền vững [18]. Do đó, PRT đóng vai trò quan trọng trong việc giải thích cách du khách phản ứng trước các yếu tố rủi ro tiềm ẩn và cách họ điều chỉnh hành vi nhằm giảm thiểu bất định trong quá trình ra quyết định [19].

2.2. Phát triển mô hình nghiên cứu

Mô hình nghiên cứu được phát triển trên cơ sở tích hợp các lý thuyết nền tảng gồm Lý thuyết hành vi có kế hoạch (TPB), Khung lý thuyết S-O-R (SOR), và Lý thuyết nhận thức rủi ro (PRT). Theo đó, người tiêu dùng có xu hướng hình thành thái độ và thể hiện hành vi du lịch có trách nhiệm khi họ nhận thức rõ các giá trị cá nhân (PV), được khơi gợi bởi các kích thích bên ngoài như hình ảnh điểm đến du lịch biển đảo. Ý định du lịch có trách nhiệm của du khách không chỉ tác động bởi nhận thức rủi ro môi trường, giá trị cảm nhận, hình ảnh điểm đến mà còn bị chi phối bởi thái độ đối với hoạt động du lịch có trách nhiệm. Phần tiếp theo sẽ trình bày chi tiết các luận giải lý thuyết và cơ sở hình thành các giả thuyết nghiên cứu.

2.2.1. Thái độ đối với hoạt động du lịch có trách nhiệm

Thái độ là sự đánh giá tích cực hoặc tiêu cực của một cá nhân đối với một hành vi cụ thể và các kết quả liên quan đến hành vi đó [3]. Ngoài ra, thái độ như một khuynh hướng tâm lý phản ánh mức độ cảm nhận của cá nhân đối với một sản phẩm hay dịch vụ, thể hiện qua mức độ thích – không thích, hài lòng – không hài lòng khi trải nghiệm hàng hóa hoặc dịch vụ [20]. Sự quan tâm đến môi trường là một dạng thái độ tổng quát đối với việc bảo vệ môi trường và là yếu tố quyết định quan trọng khiến con người thay đổi hành vi theo hướng thân thiện hơn với

môi trường [21]. Thái độ tích cực đối với du lịch bền vững và du lịch sinh thái ảnh hưởng mạnh đến ý định thực hiện hành vi bảo vệ môi trường của người dân địa phương [22]. Thái độ là khuynh hướng thúc đẩy hoặc kìm hãm việc thực hiện hành vi của cá nhân, được hình thành từ niềm tin và nhận thức về các hệ quả khi thực hiện hành vi [2].

H1: Du khách có thái độ tích cực đối với du lịch có trách nhiệm thì ý định tham gia hoạt động du lịch có trách nhiệm

2.2.2. Hình ảnh điểm đến

Hình ảnh điểm đến (Destination Image – DI) được tiếp cận theo nhiều góc độ, phản ánh nhận thức tổng hợp của du khách về một nơi. DI là toàn bộ ấn tượng, niềm tin và cảm xúc tích lũy về điểm đến theo thời gian, nhấn mạnh yếu tố cảm xúc [23]. DI là một hệ thống tương tác gồm suy nghĩ, giá trị cảm xúc và ý định hành vi [24]. DI bao gồm niềm tin, thái độ và ấn tượng về điểm đến hoặc các khía cạnh của nó [25]. DI có cấu trúc đa chiều, gồm các yếu tố như sức hấp dẫn, hoạt động giải trí, môi trường tự nhiên, văn hóa – lịch sử, cơ sở hạ tầng, môi trường xã hội và bầu không khí chung [26].

Các nghiên cứu thực nghiệm cho thấy DI tích cực có tác động đáng kể đến hành vi du lịch có trách nhiệm. DI dự báo mạnh mẽ ý định lựa chọn và quay lại điểm đến [27]. Hình ảnh được truyền thông tích cực thúc đẩy cam kết bảo vệ môi trường [28]. DI định hình nhận thức và hành vi môi trường [7], vai trò trung gian của hình ảnh sinh thái [29]. Nhìn chung, DI tích cực không chỉ tăng sức cạnh tranh điểm đến mà còn khuyến khích hành vi du lịch bền vững.

H2: Hình ảnh điểm đến có tác động cùng chiều đến ý định tham gia du lịch có trách nhiệm của khách du lịch.

2.2.3. Nhận thức rủi ro môi trường

Nhận thức rủi ro môi trường (Environmental Risk Perception) phản ánh đánh giá chủ quan của cá nhân về mức độ đe dọa của các yếu tố môi trường đối với sức khỏe và phúc lợi [30]. Tùy bối cảnh, khái niệm này được lý giải khác nhau: có thể được xem như một phần của ý thức sinh thái gắn với giá trị và trách nhiệm cá nhân,

hoặc nhấn mạnh yếu tố cảm xúc – nhận thức trong hành vi bền vững [31]. Trong du lịch, nhận thức rủi ro có thể mang tính bất nhất, khi du khách vừa nhận thấy nguy cơ vừa vẫn duy trì ý định du lịch, phụ thuộc vào giá trị hưởng thụ và khả năng kiểm soát nhận thức.

Nhiều nghiên cứu chỉ ra rằng nhận thức rủi ro môi trường ảnh hưởng trực tiếp hoặc gián tiếp đến hành vi và ý định bền vững. Nhận thức rủi ro môi trường kết hợp kiến thức môi trường tăng mối quan tâm môi trường, từ đó nâng cao ý định tiêu dùng bền vững [33]. Như vậy, nhận thức rủi ro môi trường vừa là yếu tố kích hoạt thúc đẩy hành vi bảo vệ môi trường, vừa có thể là rào cản khi kết hợp với cảm xúc, động cơ hưởng thụ hoặc hình ảnh điểm đến. Điều này cho thấy nhận thức rủi ro là biến đa chiều, có thể đóng vai trò biến độc lập, trung gian hoặc điều tiết trong các mô hình hành vi bền vững. Trong du lịch, nó vừa tác động tích cực đến ý định du lịch có trách nhiệm, vừa có thể làm suy yếu mối quan hệ giữa thái độ và hành vi khi rủi ro vượt ngưỡng chấp nhận. Do đó, nghiên cứu này đề xuất giả thuyết:

H3: Nhận thức rủi ro môi trường có tác động đến ý định tham gia du lịch có trách nhiệm của khách du lịch.

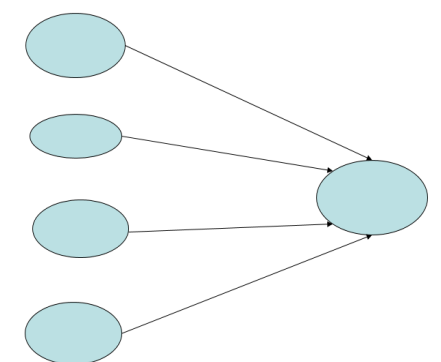
2.2.4. Giá trị cá nhân

Giá trị cá nhân (Personal Values) được hiểu là “những niềm tin bền vững định hướng hành vi, phản ánh cái mà cá nhân cho là quan trọng trong cuộc sống” [34]. Đây là yếu tố trung tâm trong giải thích hành vi du lịch, đặc biệt liên quan đến tính bền vững, sáng tạo hoặc trải nghiệm cảm xúc sâu sắc [34]. Hai hướng chính trong nghiên cứu giá trị cá nhân: (1) theo Schwartz Value Theory với bốn nhóm cốt lõi: self-transcendence, self-enhancement, openness to change và conservation; (2) theo Values-Beliefs-Norms (VBN) model để dự đoán hành vi thân thiện môi trường [34].

Các nghiên cứu thực nghiệm cho thấy giá trị cá nhân có ảnh hưởng mạnh đến nhận thức và hành vi của du khách. Giá trị cá nhân tác động trực tiếp đến hình ảnh tổng thể điểm đến ven biển, qua đó ảnh hưởng

mức độ hài lòng và ý định quay lại [35]. Các nghiên cứu mới hơn tiếp tục khẳng định mối quan hệ nhân quả này. Dựa trên lý thuyết hành động hợp lý, chỉ ra giá trị cá nhân thúc đẩy hành vi thân thiện môi trường thông qua thái độ và chuẩn mực [36]. Kết hợp VBN và Value-Identity-Personal norm cho thấy giá trị cá nhân định hình niềm tin, bản sắc và chuẩn mực sinh thái, dẫn đến ý định du lịch có trách nhiệm [37]. Tổng hợp lại, giá trị cá nhân là biến nền tảng chi phối thái độ và hành vi bền vững.

H4: Giá trị cá nhân của hoạt động du lịch có trách nhiệm tác động cùng chiều đến ý định tham gia du lịch có trách nhiệm của khách du lịch.



Hình 1. Đề xuất mô hình nghiên cứu

3. Phương pháp nghiên cứu

3.1. Đối tượng nghiên cứu

Nghiên cứu sử dụng phương pháp phỏng vấn trực tiếp bằng bảng câu hỏi đối với du khách tại Vịnh Nha Trang – khu vực tiêu biểu của du lịch sinh thái biển Việt Nam nhờ hệ sinh thái đa dạng và cảnh quan tự nhiên đặc sắc. Các sản phẩm sinh thái nổi bật như lặn ngắm san hô tại Hòn Mun, Hòn Miễu, Hòn Tằm; chèo kayak, đi thuyền buồm; tham quan rừng ngập mặn và làng chài Bích Đàm, Vũng Ngán, Trí Nguyên giúp du khách trải nghiệm gắn với giáo dục môi trường và sinh kế cộng đồng. Hoạt động trồng rừng ngập mặn, thu gom rác thải, bảo tồn rùa biển tại Hòn Tre thể hiện định hướng du lịch bền vững của vịnh. Mẫu nghiên cứu được chọn theo hạn ngạch dựa trên các biến kiểm soát gồm giới tính, tuổi, trình độ học vấn và tình trạng hôn nhân, nhằm đảm bảo tính đại diện

của du khách tại Hồ Cá Trí Nguyên và làng chài Bích Đàm. Dữ liệu được thu thập theo phương pháp thuận tiện, với kích thước mẫu tối thiểu tính theo [5]. Tổng cộng 444/450 bảng khảo sát hợp lệ (98,6%) được sử dụng cho phân tích bằng SPSS 25.0. Mẫu nghiên cứu ghi nhận 52,8% nam giới, nhóm 25–35 tuổi chiếm 35,6%, hơn 55% đã lập gia đình và khoảng 88% có trình độ từ THPT trở lên.

3.2. Đo lường các khái niệm

Nghiên cứu được lặp lại theo hướng tiếp cận của các thị trường đến từ quốc gia phát triển, với hệ thống thang đo kế thừa từ các nghiên cứu trước và hiệu chỉnh qua nghiên cứu định tính sơ bộ. Tác giả phỏng vấn 5 chuyên gia trong lĩnh vực du lịch (cơ quan quản lý, doanh nghiệp, giảng viên) và 5 du khách từng trải nghiệm Vịnh Nha Trang để hoàn thiện bộ thang đo lần 1. Sau đó bảng hỏi được điều chỉnh và kiểm định sơ bộ thông qua khảo sát trực tiếp 30 du khách. Dữ liệu thu thập được xử lý bằng SPSS 25.0 để kiểm định độ tin cậy Cronbach alpha và phân tích EFA, từ đó hình thành bộ thang đo sử dụng trong nghiên cứu định lượng chính thức.

Thang đo “Ý định tham gia hoạt động du lịch có trách nhiệm” gồm 5 biến quan sát, phát triển từ [38] và [11] phản ánh mức độ sẵn sàng, mong muốn và kế hoạch hành động của du khách đối với du lịch sinh thái biển. Thang đo “Thái độ đối với hoạt động du lịch có trách nhiệm”, gồm 4 mục hỏi kế thừa từ [3], nhằm đo cảm xúc tích cực, mức độ hữu ích và nhận thức tầm quan trọng của hoạt động bảo vệ môi trường trong trải nghiệm du lịch.

Thang đo “Giá trị cá nhân”, gồm 3 biến quan sát dựa trên [34], đánh giá mức độ coi trọng công bằng, phúc lợi cộng đồng và trách nhiệm xã hội của cá nhân. Thang đo “Hình ảnh điểm đến Vịnh biển Nha Trang”, gồm 4 mục hỏi kế thừa [26] và [39], phản ánh ấn tượng, sức hấp dẫn, tính độc đáo và mức độ trong lành của môi trường tự nhiên.

Cuối cùng, thang đo “Nhận thức rủi ro môi trường” gồm 4 biến quan sát phát triển từ [30] và [32], đo lường nhận thức của du khách về nguy cơ môi trường đối với sức khỏe, sinh kế, mức độ lo ngại trong trải

nghiệm và hậu quả dài hạn. Bộ thang đo này cho phép đánh giá toàn diện các yếu tố tâm lý – nhận thức ảnh hưởng đến hành vi du lịch có trách nhiệm tại Vịnh Nha Trang, đồng thời cung cấp cơ sở khoa học cho phân tích và đề xuất chính sách phát triển du lịch bền vững.

4. Kết quả nghiên cứu

4.1. Đánh giá độ tin cậy thang đo

Kết quả đánh giá độ tin cậy thang đo bằng hệ số Cronbach’s Alpha cho thấy tất cả các thang đo đều có hệ số dao động từ 0,680 đến 0,898 (>0,6). Kết quả này đã thể hiện các thang đo đều đạt mức tin cậy tốt. Hệ số tải nhân tố của tất cả các biến quan sát đều lớn hơn 0.5 cũng cho thấy mức độ đóng góp tốt vào các nhân tố và đảm bảo ý nghĩa thực tiễn cho thang đo.

Bảng 1. Kết quả phân tích hệ số Cronbach Alpha

Thang đo	Hệ số tải	Hệ số Cronbach’s Alpha	Kết luận
Ý định tham gia hoạt động du lịch có trách nhiệm (RTPI)	0,779 □ 0,860	0,879	Đạt độ tin cậy
Thái độ đối với hoạt động du lịch có trách nhiệm (ATRT)	0,821 □ 0,878	0,898	Đạt độ tin cậy
Hình ảnh Vịnh Nha Trang (DI)	0,700 □ 0,769	0,725	Đạt độ tin cậy
Giá trị cá nhân (PV)	0,700 □ 0,715	0,898	Đạt độ tin cậy
Nhận thức rủi ro môi trường (ERP)	0,770 □ 0,872	0,680	Đạt độ tin cậy

4.2. Phân tích tương quan

Kết quả phân tích tương quan ở Bảng 2 cho thấy hệ số Sig kiểm định tương quan Pearson giữa các biến độc lập là DI, PV, ATRT và ERP với biến phụ thuộc RTPI đều nhỏ hơn 0,05. Điều này cho thấy có mối liên hệ tuyến tính giữa các biến độc lập này với biến phụ thuộc. Giữa các biến độc lập, không có mối tương quan nào quá mạnh khi trị tuyệt đối hệ số tương quan giữa các cặp biến đều thấp hơn 0,7, nên không có dấu hiệu đa cộng tuyến.

Bảng 2. Kết quả phân tích tương quan

		RTPI	DI	PV	ATRT	ERP
RTPI	Tương quan Pearson	1	0,329**	0,433**	0,597**	0,336**

	Sig. (2 đuôi)		.000	.000	.000	.000
	Cỡ mẫu	444	444	444	444	444
	Tương quan Pearson	.329**	1	0,353**	0,298**	.414**
DI	Sig. (2 đuôi)	.000		.000	.000	.000
	Cỡ mẫu	444	444	444	444	444
	Tương quan Pearson	.433**	0,353**	1	0,391**	0,624**
PV	Sig. (2 đuôi)	.000	.000		.000	.000
	Cỡ mẫu	444	444	444	444	444
	Tương quan Pearson	.597**	0,298**	0,391**	1	0,343**
ATRT	Sig. (2 đuôi)	.000	.000	.000		.000
	Cỡ mẫu	444	444	444	444	444
	Tương quan Pearson	.336**	0,414**	0,624**	0,343**	1
ERP	Sig. (2 đuôi)	.000	.000	.000	.000	
	Cỡ mẫu	444	444	444	444	444

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

4.3. Phân tích hồi quy

Kết quả hồi quy cho thấy nhận thức rủi ro môi trường không có ý nghĩa thống kê trong việc dự đoán ý định tham gia du lịch có trách nhiệm, dù hệ số hồi quy mang dấu âm ($\beta = -0,007$). Hiện tượng này hoàn toàn không mâu thuẫn với một số kết luận trong các nghiên cứu trước và có thể được lý giải qua ba nhóm nguyên nhân sau.

Thứ nhất, một số nghiên cứu cho rằng nhận thức rủi ro môi trường chỉ thúc đẩy hành vi khi rủi ro được cảm nhận rõ ràng, trực tiếp và mang tính đe dọa cao [30]. Trong bối cảnh du lịch biển Nha Trang, rủi ro môi trường có thể được du khách đánh giá thấp hoặc xem là tình trạng quen thuộc, dẫn đến việc rủi ro được nhận thức nhưng không đủ mạnh để tạo động lực thay đổi hành vi. Điều này phù hợp với lập luận của Saari và cộng sự (2021) rằng rủi ro chỉ phát huy tác động khi kết hợp với mức độ hiểu biết và trách nhiệm cá nhân tương ứng [33].

Thứ hai, kết quả này gợi ý khả năng tồn tại của hiện tượng “risk inconsistency” trong du lịch – khi du khách nhận biết rủi ro nhưng vẫn duy trì ý định tham gia các hoạt động giải trí [32]. Du khách có thể xem du lịch là hoạt động mang tính hưởng thụ, và giá trị khoái cảm có thể làm suy yếu hoặc triệt tiêu tác động của nhận thức rủi ro. Điều này giải thích vì sao hệ số mang dấu âm nhưng

không có ý nghĩa: du khách không thấy rủi ro đủ nghiêm trọng để phải điều chỉnh hành vi theo hướng có trách nhiệm.

Thứ ba, nghiên cứu trước cũng cho thấy hình ảnh điểm đến tích cực có thể “làm mềm hóa” nhận thức rủi ro, khiến du khách giảm mức độ lo ngại và tiếp tục duy trì ý định du lịch [27]. Trong mô hình hiện tại, hình ảnh điểm đến có tác động đáng kể, điều này hàm ý rằng du khách có thể bị thuyết phục mạnh bởi các yếu tố hấp dẫn, từ đó vô thức bỏ qua hoặc xem nhẹ rủi ro môi trường. Tác động lẫn át từ thái độ và giá trị cá nhân cũng củng cố nhận định này, phù hợp với các kết quả của [36, 38]. Như vậy, việc biến nhận thức rủi ro môi trường không có ý nghĩa thống kê phản ánh bản chất phức hợp của rủi ro trong bối cảnh du lịch: rủi ro tồn tại nhưng không được chuyển hóa thành động lực hành vi. Điều này cho thấy ý định tham gia du lịch có trách nhiệm tại Nha Trang chịu ảnh hưởng mạnh hơn từ các yếu tố mang tính thúc đẩy tích cực như thái độ, giá trị cá nhân và hình ảnh điểm đến, thay vì các tín hiệu rủi ro mang tính cảnh báo. Đây là hàm ý quan trọng cho quản lý điểm đến: các chiến lược truyền thông nhấn mạnh giá trị, trải nghiệm tích cực và lợi ích của hành vi có trách nhiệm sẽ hiệu quả hơn so với các thông điệp dựa trên nỗi lo rủi ro môi trường.

Bảng 3. Kết quả phân tích hồi quy

Mô hình	Hệ số chưa chuẩn hóa		Hệ số chuẩn hóa	Giá trị t	Mức ý nghĩa	Thông kê đa cộng tuyến	
	Beta	Sai số chuẩn	Beta			Tolerance	VIF
Hằng số	0,852	0,280		3,036	0,003		
DI	0,139	0,050	0,114	2,776	0,006	0,534	1,823
PV	0,258	0,060	0,208	4,299	0,000	0,541	1,841
ATRT	0,464	0,039	0,484	11,939	0,000	0,485	1,064
ERP	-0,009	0,064	-0,007	-0,140	0,889	0,534	1,35

5. Kết luận và gợi ý

5.1 Kết luận

Mục tiêu chính của nghiên cứu là đánh giá vai trò của thái độ đối với hoạt động du lịch có trách nhiệm, giá trị cá nhân, hình ảnh điểm đến Vịnh Nha Trang và nhận thức rủi ro môi trường trong việc giải thích ý định tham gia du lịch có trách nhiệm của du khách. Với 444 bảng khảo sát hợp lệ, mô

hình hồi quy tuyến tính được sử dụng để kiểm định mối quan hệ giữa bốn biến độc lập và ý định hành vi.

Kết quả cho thấy ba yếu tố gồm thái độ đối với hoạt động du lịch có trách nhiệm (ATRT), giá trị cá nhân (PV) và hình ảnh điểm đến (DI) đều có ảnh hưởng tích cực và có ý nghĩa thống kê đến ý định tham gia du lịch có trách nhiệm. Trong đó, thái độ là yếu tố có tác động mạnh nhất. Điều này cho thấy du khách có cảm nhận tích cực về các hoạt động du lịch có trách nhiệm thường dễ hình thành ý định tham gia và duy trì hành vi thân thiện hơn đối với môi trường và cộng đồng địa phương. Giá trị cá nhân là yếu tố tác động thứ hai, phản ánh việc du khách càng nhận thức rõ vai trò, trách nhiệm và chuẩn mực đạo đức của bản thân thì càng có xu hướng lựa chọn và ủng hộ các hành vi du lịch có trách nhiệm. Hình ảnh điểm đến đóng vai trò yếu hơn nhưng vẫn có ý nghĩa trong việc củng cố ý định hành vi; những điểm đến có hình ảnh tích cực, an toàn, hấp dẫn và gắn với trải nghiệm sinh thái bền vững sẽ khuyến khích du khách tham gia các hoạt động có trách nhiệm hơn.

Ngược lại, nhận thức rủi ro môi trường không có ý nghĩa thống kê trong mô hình, hàm ý rằng dù du khách nhận biết tồn tại các rủi ro môi trường, yếu tố này không đủ mạnh để ảnh hưởng đến quyết định tham gia du lịch có trách nhiệm. Du khách xem những rủi ro môi trường tại điểm đến cần có sự chung tay của các bên liên quan từ chính quyền địa phương, doanh nghiệp, cộng đồng địa phương nên yếu tố nhận thức về rủi ro môi trường chưa đủ mạnh để ảnh hưởng đến ý định hành vi của cá nhân du khách. Điều này phù hợp với lập luận rằng trong bối cảnh du lịch bền vững, các tín hiệu rủi ro thường bị giảm nhẹ bởi động cơ hưởng thụ hoặc hình ảnh điểm đến tích cực.

5.2 Các hàm ý chính sách

Kết quả nghiên cứu cho thấy ý định tham gia du lịch có trách nhiệm của du khách chịu ảnh hưởng đáng kể từ ba yếu tố: thái độ đối với hoạt động du lịch có trách nhiệm (ATRT), giá trị cá nhân (PV) và hình ảnh điểm đến (DI). Do vậy, các giải pháp chính sách cần tập trung củng cố ba yếu tố cốt lõi

này, đồng thời tạo điều kiện để hành vi du lịch bền vững được hình thành và duy trì ổn định.

Thứ nhất, cần xây dựng khung chính sách toàn diện định hướng phát triển du lịch có trách nhiệm ở cấp quốc gia và địa phương. Các chương trình nâng cao nhận thức về bảo vệ môi trường, gìn giữ văn hóa và tiêu dùng bền vững nên được thiết kế và triển khai rộng rãi cho cộng đồng và du khách. Việc tích hợp nội dung du lịch có trách nhiệm vào chương trình giáo dục phổ thông và đại học sẽ giúp hình thành thái độ tích cực (ATRT) từ sớm, góp phần lan tỏa nền tảng nhận thức bền vững trong tương lai.

Thứ hai, Nhà nước cần ban hành bộ tiêu chí đánh giá mức độ thực hành du lịch có trách nhiệm dành cho doanh nghiệp và điểm đến. Bộ tiêu chí này là công cụ giám sát đồng thời là kênh truyền thông giúp tăng cường hình ảnh điểm đến (DI) trong mắt du khách. Việc công bố bảng xếp hạng doanh nghiệp xanh, điểm đến thân thiện môi trường hoặc áp dụng ưu đãi tài chính cho đơn vị đáp ứng tiêu chuẩn sẽ thúc đẩy doanh nghiệp đầu tư nghiêm túc hơn, hướng tới nâng cao chất lượng trải nghiệm du khách theo định hướng bền vững.

Thứ ba, phường Nha Trang và các cơ quan liên quan cần triển khai chiến dịch truyền thông trực tiếp nhằm củng cố DI và ATRT. Các thông điệp về bảo vệ môi trường, văn hóa và ứng xử trách nhiệm có thể truyền tải qua bảng hiệu, video tại sân bay – bến tàu, tài liệu tại điểm tham quan và nền tảng số. Điều này giúp du khách định hình thái độ tích cực trước và trong quá trình trải nghiệm.

Thứ tư, sự phối hợp giữa chính quyền, hiệp hội du lịch, tổ chức phi chính phủ và cơ sở đào tạo là cần thiết để nâng cao PV và năng lực cộng đồng. Các chương trình tập huấn, hội thảo, chiến dịch truyền thông sẽ giúp người dân nhận thức rõ vai trò của mình, đồng thời thúc đẩy việc phát triển các sản phẩm du lịch trách nhiệm như tour sinh thái, tour cộng đồng hay trải nghiệm nông nghiệp.

Cuối cùng, hệ thống giáo dục cần chú trọng đào tạo nguồn nhân lực du lịch theo

hướng bền vững thông qua hoạt động ngoại khóa, dự án thực hành và cuộc thi sáng tạo. Dù đạt được nhiều đóng góp, nghiên cứu vẫn còn hạn chế về phạm vi và thời gian khảo sát; do đó các nghiên cứu tiếp theo nên mở rộng địa lý, đa dạng mẫu và bổ sung thêm các yếu tố ảnh hưởng khác.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Fennell, D. A. (2008). Responsible tourism: A Kierkegaardian interpretation. *Tourism Recreation Research*, 33(1), 3-12.
- [2] Cong, L. C., Huong, T. H. T. (2023). Mở rộng mô hình hành vi tiêu dùng có kế hoạch để giải thích ý định sử dụng sản phẩm bao bì xanh của du khách đến Nha Trang. *VNU JOURNAL OF ECONOMICS AND BUSINESS*, 3(1), 92-92.
- [3] Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational behavior and human decision processes*, 50(2), 179-211.
- [4] Russell, J. A., & Mehrabian, A. (1974). Distinguishing anger and anxiety in terms of emotional response factors. *Journal of consulting and clinical psychology*, 42(1), 79.
- [5] Hair, J. F., Anderson, R. E., Tatham, R. L., & Black, W. C. (1998). Multivariate data analysis. 5th Edn Prentice Hall International. Upper Saddle River, NJ.
- [6] Sở Du lịch Khánh Hòa (2024), Báo cáo kết quả hoạt động du lịch Khánh Hòa năm 2024.
- [7] Almeida-Santana, A., Moreno-Gil, S., & Boza-Chirino, J. (2020). Collaborative tourism in Europe: the role of travel motivations on new platforms and information sources. *International Journal of Business and Globalisation*, 24(3), 355-376.
- [8] Weeden, C. (2013). *Responsible tourist behaviour*. Routledge.
- [9] Mihalic, T. (2016). Sustainable-responsible tourism discourse—Towards ‘responsustable’ tourism. *Journal of cleaner production*, 111, 461-470.
- [10] UNWTO. (2017). 5th Global Summit on City Tourism: Cities—Local Culture for Global Travellers 1–2 November 2016, Luxor, Egypt.
- [11] Công, L. C. (2017). Phân tích các nhân tố ảnh hưởng tới ý định hành vi tiêu dùng xanh: Trường hợp khách du lịch quốc tế đến

Nha Trang. Tạp chí Kinh tế và Phát triển, Số 241, trang 96-104.

[12] Thomas, A., & Wee, H. (2024). *Exploring educational tourists' destination selection behaviour using the extended S-O-R model*. International Journal of Academic Research in Progressive Education and Development, 13(3), [số trang]. <https://doi.org/10.6007/IJARPED/v13-i3/21676>.

[13] Scott, N., Moyle, B., Campos, A. C., Skavronskaya, L., & Liu, B. (2024). *Updating tourism theory: The S-O-R model*. Trong *Cognitive Psychology and Tourism* (Vol. 27, pp. 31-43). Emerald Publishing. <https://doi.org/10.1108/S1571-504320240000027004>.

[14] Tam, L. D., Tuu, H. H., & Cong, L. C. (2024). *The effect of social media marketing on tourist loyalty: A mediation-moderation analysis in the tourism sector under the Stimulus-Organism-Response model*. *Journal of Tourism and Services*, 15(29), 294-319. <https://doi.org/10.29036/jots.v15i29.914>.

[15] Bauer, R. A. (1967). Consumer behavior as risk taking. *Marketing: Critical perspectives on business and management*, 593, 13-21.

[16] Dowling, G. R., & Staelin, R. (1994). A model of perceived risk and intended risk-handling activity. *Journal of consumer research*, 21(1), 119-134.

[17] Cong, L. C. (2021). Perceived risk and destination knowledge in the satisfaction-loyalty intention relationship: an empirical study of European tourists in Vietnam. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*. <https://doi.org/10.1016/j.jort.2020.100343>.

[18] Han, H., & Hyun, S. S. (2017). *Drivers of customer decision to visit an environmentally responsible museum: Merging the theory of planned behavior and norm activation theory*. *Journal of Travel & Tourism Marketing*, 34(9), 1155-1168. <https://doi.org/10.1080/10548408.2017.1304317>.

[19] Ateş, A., & Sunar, H. (2024). The mediating role of local people's attitudes and behaviours on the impact of destination safety climate on risk perception: A study on foreign tourists in İstanbul and Antalya. *Sosyoekonomi*, 32(62), 247-272. <https://doi.org/10.17233/sosyoekonomi.2024.04.13>

[20] Eagly, A. H., & Chaiken, S.

(1993). *The psychology of attitudes*. Harcourt Brace Jovanovich College Publishers.

[21] Bamberg, S. (2003). How does environmental concern influence specific environmentally related behaviors? A new answer to an old question. *Journal of environmental psychology*, 23(1), 21-32.

[22] Cheng, T. M., Wu, H. C., & Huang, L. M. (2019). The influence of place attachment on the relationship between residents' environmental attitudes and pro-environmental behaviors in tourism. *Sustainability*, 11(22), 6280. <https://doi.org/10.3390/su11226280>.

[23] Kim, H., & Richardson, S. L. (2003). Motion picture impacts on destination images. *Annals of tourism research*, 30(1), 216-237.

[24] Tasci, A. D., Gartner, W. C., & Tamer Cavusgil, S. (2007). Conceptualization and operationalization of destination image. *Journal of hospitality & tourism research*, 31(2), 194-223.

[25] Lawton, L. J., & Weaver, D. B. (2010). Normative and innovative sustainable resource management at birding festivals. *Tourism Management*, 31(4), 527-536.

[26] Beerli, A., & Martin, J. D. (2004). Factors influencing destination image. *Annals of tourism research*, 31(3), 657-681.

[27] Perpiña, L., Campubí, R., & Prats, L. (2019). Destination image versus risk perception. *Journal of Hospitality & Tourism Research*, 43(1), 3-19.

[28] Lu, L., Jiao, M., & Weng, L. (2023). Influence of first-time visitors' perceptions of destination image on perceived value and destination loyalty: A case study of grand canal Forest Park, Beijing. *Forests*, 14(3), 504.

[29] Ozdemir, A. I., & Yilmaz, M. K. (2023). From sustainable tourism to social engagement: A value-belief-norm approach to the roles of environmental knowledge, eco-destination image, and biospheric value. *Sustainability*, 17(10), 4353. <https://doi.org/10.3390/su17104353>.

[30] Liobikienė, G., & Juknys, R. (2016). The role of values, environmental risk perception, awareness of consequences, and willingness to assume responsibility for environmentally-friendly behaviour: The Lithuanian case. *Journal of Cleaner*

Production, 112, 3413-3422.

[31] Janmaimool, P., Chontanawat, J., & Chudech, S. (2024). The effects of perceptions of environmental health risk and environmental risk on sustainable infectious waste management behaviours among citizens in Bangkok, Thailand. *Cleaner and Responsible Consumption*, 12, 100175.

[32] Nam, Y., & Yang, Y. (2025). Cognitive Inconsistency in Travel Risk Perception: A Behavioral Economics Perspective. *Journal of Hospitality & Tourism Research*, 10963480251318035.

[33] Saari, U. A., Damberg, S., Frömbing, L., & Ringle, C. M. (2021). Sustainable consumption behavior of Europeans: The influence of environmental knowledge and risk perception on environmental concern and behavioral intention. *Ecological Economics*, 189, 107155.

[34] Kim, M. (2020). A systematic literature review of the personal value orientation construct in hospitality and tourism literature. *International Journal of Hospitality Management*, 89, 102572.

[35] de Lima Pereira, M., dos Anjos, F. A., da Silva Añaña, E., & Weismayer, C. (2021). Modelling the overall image of coastal tourism destinations through personal values of tourists: A robust regression approach. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*, 35, 100412.

[36] Elsamen, A. A., Fotiadis, A., Alalwan, A. A., & Huan, T. C. (2025). Enhancing pro-environmental behavior in tourism: Integrating attitudinal factors and Norm Activation Theory. *Tourism Management*, 109, 105155.

[37] Luong, T. B. (2024). Adapting Values-Beliefs-Norms (VBN) model and the Value-Identity-Personal norm (VIP) model into ecotourism intention: A case study of Cat Tien National Park, Vietnam. *International Journal of Geoheritage and Parks*, 12(4), 621-635.

[38] Liu, Y., & Chen, S. (2014). The impact of environmental attitudes on marine ecotourism intention: A case of Taiwan. *Ocean & Coastal Management*, 102, 146-153.

[39] Cong, L. C. (2016). A formative model of the relationship between destination quality, tourist satisfaction and intentional loyalty: An empirical test in Vietnam.