Ứng dụng công nghệ 4.0 trong quản lý tòa nhà nhằm thúc đẩy phát triển đô thị thông minh và bền vững

Application of industry 4.0 technologies in building management to promote smart and sustainable urban development

Trần Ngọc Tuấn[1], Nguyễn Văn Tiếp[2,*]

[1] Khoa Xây dựng - Nhiệt lạnh, Trường Cao đẳng Lý Tự Trọng TP. Hồ Chí Minh;
[2] Khoa Xây dựng, Trường Đại học Công nghệ Kỹ thuật TP. Hồ Chí Minh;
*Tác giả liên hệ: tiepnv@hcmute.edu.vn

■ Nhận bài: 28/12/2025 ■ Sửa bài: 09/02/2026 ■ Duyệt đăng: 08/03/2026

DOI: https://doi.org/10.66195/mtu.2026.16.157

TÓM TẮT

Nghiên cứu này đánh giá việc ứng dụng công nghệ 4.0 trong quản lý và vận hành tòa nhà, đồng thời đề xuất các giải pháp hiệu quả nhằm nâng cao hiệu suất quản lý tại Việt Nam. Phương pháp nghiên cứu bao gồm tổng hợp tài liệu, phân tích các bài báo và phỏng vấn chuyên gia để nhận diện các yếu tố ảnh hưởng đến việc triển khai công nghệ 4.0 trong quản lý tòa nhà. Kết quả phân tích xác định 5 nhóm yếu tố chính: tài chính, hạ tầng kỹ thuật, năng lực nhân sự, khung pháp lý, và an ninh mạng. Các yếu tố này có mối liên hệ chặt chẽ, tác động đến khả năng triển khai đồng bộ và hiệu quả các hệ thống công nghệ 4.0 như IoT, AI, và Blockchain. Nghiên cứu cũng trình bày trường hợp điển hình tại ký túc xá Trường Cao đẳng Lý Tự Trọng TP.HCM để minh họa tiềm năng, thách thức và giải pháp thực tế trong việc áp dụng công nghệ 4.0 vào quản lý tòa nhà.

Từ khóa: Công nghệ 4.0, Đô thị thông minh, Hệ thống BMS, IoT, Quản lý tòa nhà

ABSTRACT

This study evaluates the application of Industry 4.0 technologies in building management and operation, and proposes effective solutions to enhance management performance in Vietnam. The research methodology includes literature synthesis, academic article analysis, and expert interviews to identify the key factors influencing the implementation of Industry 4.0 in building management. The findings reveal five major factor groups: financial capability, technical infrastructure, human resource competence, legal framework, and cybersecurity. These factors are strongly interconnected and collectively affect the ability to deploy advanced Industry 4.0 systems such as IoT, AI, and Blockchain in an integrated and effective manner. A case study of the dormitory at Ly Tu Trong College in Ho Chi Minh City is presented to illustrate the potential, challenges, and practical solutions in applying Industry 4.0 technologies to building management.

Keywords: Industry 4.0, Smart City, Building Management System (BMS), IoT, Building Management

1. GIỚI THIỆU

Theo Klaus Schwab (2016), Cách mạng công nghiệp (CMCN) lần thứ tư là "sự hội tụ giữa công nghệ số, công nghệ vật lý và công nghệ sinh học, tạo ra những thay đổi căn bản về cách con người sống, làm việc và tương tác" [1]. Tiếp cận theo góc nhìn công nghiệp, Xu và các cộng sự (2018) cho rằng CMCN 4.0 đại diện cho "sự chuyển đổi từ sản xuất tập trung sang phi tập trung, được thực hiện nhờ các tiến bộ công nghệ đảo ngược logic sản xuất truyền thống" [2]. Bổ sung thêm, Larry Mooney (2024) mô tả đây là "cuộc cách mạng kỹ thuật số, ứng dụng các thiết bị điện tử và công nghệ thông tin để tự động hóa quá trình sản xuất" [3].

Trong thời kỳ CMCN 4.0, xây dựng đô thị thông minh (ĐTTM) đã trở thành xu hướng toàn cầu và Việt Nam không nằm ngoài làn sóng này [4]. Các thành phố lớn như Hà Nội, Hồ Chí Minh và Đà Nẵng đang triển khai các kế hoạch phát triển ĐTTM nhằm tối ưu hóa nguồn lực, cải thiện chất lượng cuộc sống và thúc đẩy phát triển bền vững. Trong đó, quản lý và vận hành tòa nhà thông minh là thành phần cốt lõi, góp phần nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng, an ninh và trải nghiệm sống của cư dân.

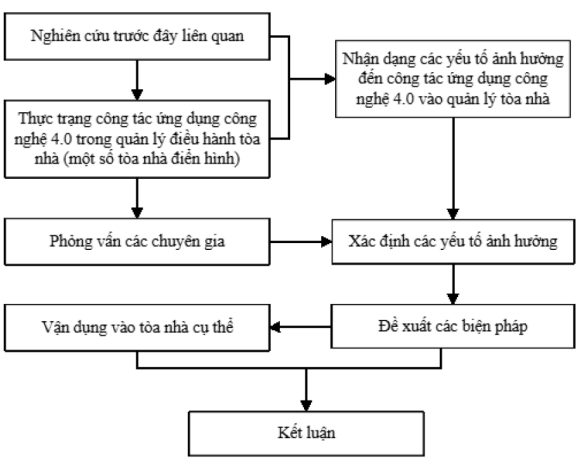
Công nghệ 4.0 bao gồm IoT, AI, Big Data, điện toán đám mây và Blockchain, mang lại giải pháp tối ưu hóa quản lý tòa nhà [5]. Các hệ thống thông minh có khả năng giám sát, phân tích và điều chỉnh hoạt động theo thời gian thực, giúp giảm lãng phí năng lượng, tăng hiệu quả bảo trì, nâng cao an ninh và tạo môi trường sống hiện đại, tiện nghi hơn. Tuy nhiên, việc ứng dụng các công nghệ này tại Việt Nam vẫn còn nhiều thách thức.

Trong bối cảnh đó, nghiên cứu về ứng dụng công nghệ 4.0 trong quản lý tòa nhà là cần thiết nhằm xác định các yếu tố ảnh hưởng và đề xuất giải pháp khả thi. Trường hợp điển hình tại ký túc xá Trường Cao đẳng Lý Tự Trọng TP.HCM được chọn để phân tích nhằm minh họa tiềm năng và cách triển khai thực tế. Nghiên cứu không chỉ góp phần nâng cao hiệu quả quản lý tòa nhà mà còn hỗ trợ các mục tiêu phát triển ĐTTM tại Việt Nam, tạo nền tảng cho môi trường sống thông minh và bền vững.

2. NỘI DUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1 Quy trình thực hiện nghiên cứu

Bước 1: Tổng hợp các nghiên cứu trước đây liên quan để xác định xu hướng và bài học kinh nghiệm trong ứng dụng công nghệ 4.0 vào quản lý tòa nhà. Tác giả xem xét các nghiên cứu thực hiện tại các nước đang phát triển (ưu tiên bối cảnh Việt Nam) trong 5 năm gần đây nhất trên cơ sở dữ liệu Google Scholar, Web of Science và Scopus và dữ liệu tạp chí trong nước. Dữ liệu ban đầu cho thấy 54 công trình nghiên cứu. Sau khi đọc và xem xét, tác giả lựa chọn 17 công trình tiêu biểu dùng trong nghiên cứu này. Tiêu chí lựa chọn: (i) mức độ liên quan trực tiếp đến ứng dụng công nghệ 4.0 trong quản lý/vận hành tòa nhà; (ii) mức độ triển khai (mô hình, kiến trúc hệ thống, quy trình vận hành/bảo trì, dữ liệu); (iii) tính đại diện về nhóm công nghệ (IoT/AI/BigData/Cloud/ Blockchain) và bối cảnh tương đồng Việt Nam. Mặc dù cách lược sử này còn nhiều hạn chế nhưng bước đầu giúp tác giả làm rõ các khái niệm và nghiên cứu một số mô hình áp dụng công nghệ 4.0 điển hình cho quản lý tòa nhà.



Hình 1. Quy trình nghiên cứu

Bước 2: Đánh giá thực trạng công tác ứng dụng công nghệ 4.0 trong quản lý điều hành tòa nhà thông qua các tòa nhà điển hình. Nguồn dữ liệu bao gồm hồ sơ/website chính thức của chủ đầu tư hoặc đơn vị vận hành, các tài liệu công bố liên quan đến hệ thống quản lý tòa nhà, và các nguồn công khai đáng tin cậy dùng để đối chiếu. Tác giả thu thập thông tin 9 dự án điển hình tại khu vực thành phố Hồ Chí Minh thông qua dữ liệu dự án công bố; và phân loại các mức độ áp dụng công nghệ 4.0 trong quản lý tòa nhà theo 4 mức độ dưới đây.

Bảng 1: Mô tả mức độ chuẩn hóa công nghệ

Mức độ	Định nghĩa chuẩn hóa	Đặc trưng công nghệ
0 - Truyền thống	Vận hành chủ yếu bằng thủ công hoặc bán thủ công; CNTT chưa đóng vai trò trung tâm.	Không có BMS; ghi chép thủ công; xử lý sự cố mang tính phản ứng; dữ liệu không được lưu trữ có hệ thống.
1 - Số hóa cơ bản	Bắt đầu ứng dụng công nghệ số để hỗ trợ vận hành, nhưng các hệ thống còn rời rạc.	BMS cơ bản; CCTV; thẻ từ; phần mềm riêng lẻ cho từng hệ thống; chưa tích hợp dữ liệu.
2 - Tích hợp thông minh	Các hệ thống kỹ thuật được tích hợp và giám sát tập trung, hỗ trợ điều hành hiệu quả.	IBMS; smart parking; IAQ sensors; Energy Management System; dashboard giám sát tập trung.
3 - Vận hành thông minh (4.0)	Vận hành dựa trên dữ liệu, hướng đến tối ưu hóa hiệu suất, chi phí và trải nghiệm người dùng.	Phân tích dữ liệu vận hành; tối ưu năng lượng; cảnh báo sớm; hỗ trợ ra quyết định dựa dữ liệu.

Bước 3: Nhận dạng các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu quả ứng dụng công nghệ 4.0 trong quản lý tòa nhà.

Bước 4: Phỏng vấn các chuyên gia để thu thập ý kiến về các yếu tố ảnh hưởng và các giải pháp triển khai. Dữ liệu từ 19 chuyên gia thuộc 10 lĩnh vực chuyên môn (kinh nghiệm chủ yếu 5-15 năm) được tổng hợp để đảm bảo tính đa chiều và cân bằng.

Bước 5: Vận dụng kết quả nghiên cứu vào một tòa nhà cụ thể nhằm đánh giá khả năng và mức độ áp dụng các công nghệ 4.0 trong thực tiễn quản lý vận hành; trên cơ sở đó, đề xuất các giải pháp cải thiện và thúc đẩy việc triển khai hiệu quả công nghệ 4.0 trong quản lý tòa nhà.

2.2 Quy trình thực hiện phỏng vấn chuyên gia

Bước 1: Xác định mục tiêu phỏng vấn và xây dựng bộ câu hỏi nghiên cứu phù hợp, làm rõ thông tin cần thu thập thông qua các câu hỏi mở và đóng.

Bước 2: Lựa chọn chuyên gia đáp ứng tiêu chí nghiên cứu và tiến hành phỏng vấn theo kế hoạch đã thống nhất, bảo đảm ghi nhận đầy đủ nội dung trao đổi. Các chuyên gia được lựa chọn theo phương pháp chọn mẫu có chủ đích, với tiêu chí: (i) chuyên môn phù hợp; (ii) kinh nghiệm tối thiểu 5 năm, đa số đạt 6-15 năm; và (iii) đã/đang tham gia triển khai, vận hành hoặc ra quyết định liên quan đến các hệ thống tòa nhà thông minh (BMS/IBMS/EMS, IoT). Phỏng vấn được thực hiện kết hợp trực tiếp và trực tuyến (theo điều kiện chuyên gia). Để tăng độ tin cậy, nghiên cứu áp dụng đối chiếu tam giác giữa dữ liệu phỏng vấn, tổng quan tài liệu và dữ liệu dự án; thực hiện chuẩn hóa biên bản và kiểm chứng lại tóm tắt kết quả với một số chuyên gia tham gia trực tiếp.

Bước 3: Phân tích và tổng hợp thông tin thu thập được từ các cuộc phỏng vấn. Nhóm tác giả sử dụng phân tích chủ đề: (i) chuẩn hóa biên bản/ghi chú phỏng vấn; (ii) mã hóa mở các ý kiến liên quan đến điều kiện triển khai, rào cản và giải pháp; (iii) rà soát, hợp nhất và đối chiếu chủ đề giữa các nhóm chuyên môn; (iv) tổng hợp thành các nhóm yếu tố chính và đối chiếu với kết quả tổng quan tài liệu và dữ liệu dự án để tăng độ tin cậy. Tiếp theo đó nhóm tác giả rút ra những kết luận và kiến nghị cho nghiên cứu.

2.3 Hạn chế nghiên cứu

Thứ nhất, dữ liệu dự án chủ yếu tập trung tại thành phố Hồ Chí Minh, do đó có thể phản ánh bối cảnh đô thị lớn với mức độ sẵn sàng công nghệ cao hơn, và chưa đại diện đầy đủ cho các địa phương khác.

Thứ hai, nghiên cứu có một trường hợp điển hình (ký túc xá) được phân tích sâu; tuy giúp làm rõ cơ chế triển khai trong môi trường vận hành đặc thù, nhưng không nên diễn giải như đại diện cho toàn bộ nhóm công trình dân dụng - thương mại.

Thứ ba, việc phân loại mức độ áp dụng 0-3 dựa trên thông tin công khai có thể dẫn tới một số sai lệch khi dữ liệu chưa đầy đủ.

Do đó, nghiên cứu hướng tới khái quát hóa và cung cấp khung tham chiếu cho bối cảnh tương đồng, đồng thời gợi mở các nghiên cứu tiếp theo trong tương lai.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

3.1 Mô tả đặc trưng dữ liệu

Nhằm thực hiện đánh giá thực trạng ứng dụng công nghệ 4.0 trong quản lý điều hành tòa nhà, tác giả đã thu thập thông tin tại các dự án trong khu vực TP. Hồ Chí Minh. Các dự án được chọn theo phương pháp chọn mẫu có chủ đích nhằm minh họa phổ mức độ áp dụng (0-3) và tính đa dạng về hệ thống/loại hình công trình. Nguồn dữ liệu bao gồm hồ sơ/website chính thức của chủ đầu tư hoặc đơn vị vận hành, các tài liệu công bố liên quan đến hệ thống quản lý tòa nhà (BMS/IBMS/EMS, IAQ) và các nguồn công khai đáng tin cậy dùng để đối chiếu. Việc gán mức được thực hiện dựa trên các bằng chứng công khai tối thiểu của từng dự án; trong trường hợp thiếu thông tin, nhóm tác giả giữ phân loại ở mức thận trọng hơn.

Bảng 2: Thống kê tòa nhà ứng dụng công nghệ 4.0 trong quản lý điều hành

TT	Tên dự án	Mô tả mức độ áp dụng công nghệ 4.0	Mức độ
1	The Nexus Tower (Quận 1)	Triển khai hệ thống quản lý đồng bộ (BMS), hệ thống đỗ xe và hệ thống kiểm soát ra vào; giám sát tập trung các hệ kỹ thuật phục vụ điều hành và tối ưu vận hành cơ bản.	Cấp 2
2	Deutsches Haus Ho Chi Minh City (Quận 1)	Vận hành bằng BMS, tích hợp chiếu sáng (HVAC) - năng lượng; hướng đến hiệu quả vận hành và phát triển bền vững.	Cấp 2
3	Vietcombank Tower (Quận 1)	Ứng dụng BMS kết hợp cảm biến chất lượng không khí (IAQ) và hệ thống giám sát (CCTV IP); dữ liệu môi trường hỗ trợ điều chỉnh HVAC.	Cấp 2
4	Bitexco Financial Tower (Quận 1)	BMS toàn diện, giám sát thiết bị, cảnh báo sự cố và lập lịch bảo trì; sử dụng dữ liệu lịch sử để tối ưu vận hành.	Cấp 3
5	Saigon Centre Tower 1 (Quận 1)	Hệ thống BMS, hệ thống chiếu sáng LED, HVAC tiết kiệm năng lượng; dữ liệu hỗ trợ kiểm soát tiêu thụ năng lượng.	Cấp 2
6	Saigon Centre Tower 2 (Quận 1)	Tích hợp BMS và hệ thống thang máy (PORT), kiểm soát truy cập theo người dùng, tối ưu luồng di chuyển trong tòa nhà.	Cấp 2
7	Saigon Times Square (Quận 1)	BMS thông minh kết hợp kiểm soát ra vào và CCTV; dữ liệu chủ yếu phục vụ giám sát và điều hành hàng ngày.	Cấp 2
8	Saigon Marina IFC (TP.HCM)	BMS, kiểm soát ra vào và camera giám sát 24/7; quản lý tập trung an ninh và hệ thống kỹ thuật.	Cấp 2
9	OneHub Saigon (TP. Thủ Đức)	Hệ thống quản lý năng lượng (EMS), đạt chứng nhận xanh LEED Silver; theo dõi, phân tích và tối ưu tiêu thụ năng lượng.	Cấp 3

Trong nghiên cứu về ứng dụng công nghệ 4.0 trong quản lý và điều hành tòa nhà, tác giả đã tiến hành phỏng vấn 19 chuyên gia đến từ 10 lĩnh vực chuyên môn liên quan, bao phủ toàn diện các khía cạnh công nghệ, quản lý, kỹ thuật và chính sách.

Bảng 3: Thống kê đối tượng phỏng vấn

Lĩnh vực chuyên môn	Số lượng	5- 10 năm	10- 15	> 15 năm
Công nghệ thông tin và truyền thông	2	0	2	0
Quản lý và vận hành tòa nhà	3	0	3	0

Tài chính và đầu tư	2	2	0	0
Pháp lý và quy định	2	2	0	0
Năng lượng và môi trường	3	3	0	0
Kỹ thuật xây dựng và hệ thống cơ điện	2	0	2	0
Kiến trúc sư và thiết kế tòa nhà thông minh	2	0	2	0
Quản lý môi trường và phát triển bền vững	1	0	1	0
An toàn và sức khỏe	2	2	0	0
Tổng cộng	19	9	10	0

Các chuyên gia có kinh nghiệm trung bình từ 6 đến 15 năm, trong đó nhiều lĩnh vực chủ chốt như công nghệ thông tin & truyền thông, quản lý vận hành tòa nhà, kỹ thuật xây dựng - cơ điện - tự động hóa và kiến trúc tòa nhà thông minh có sự tham gia của nhiều chuyên gia dày dạn kinh nghiệm (từ 12-15 năm). Bên cạnh đó, nghiên cứu cũng ghi nhận ý kiến từ các chuyên gia về pháp lý, năng lượng - môi trường, an toàn - sức khỏe và phát triển bền vững, góp phần đảm bảo góc nhìn đa chiều và cân bằng.

3.2 Nhận dạng xu hướng áp dụng công nghệ 4.0 trong quản lý và điều hành tòa nhà

Kết quả từ các nghiên cứu trong và ngoài nước cho thấy công nghệ 4.0 đang tạo nên những thay đổi sâu rộng trong quản lý và vận hành tòa nhà, trở thành nền tảng cốt lõi của các mô hình đô thị thông minh (ĐTTM). Theo Klaus Schwab, Cách mạng công nghiệp 4.0 là giai đoạn hợp nhất các công nghệ số, vật lý và sinh học, làm mờ ranh giới giữa con người và máy móc [1]. Các công nghệ then chốt như trí tuệ nhân tạo (AI), Internet vạn vật (IoT), dữ liệu lớn (Big Data) và chuỗi khối (Blockchain) đóng vai trò quyết định trong việc nâng cao hiệu quả vận hành tòa nhà cũng như quản trị đô thị.

Trí tuệ nhân tạo (AI) được mô tả theo nhiều góc tiếp cận khác nhau. Bellman (1978) định nghĩa AI là quá trình "tự động hóa các hoạt động phù hợp với tư duy con người như lập luận, ra quyết định và giải bài toán" [6]. Rich và Knight (1991) cho rằng AI nghiên cứu cách giúp máy tính thực hiện các nhiệm vụ mà trước đây con người làm tốt hơn máy tính [7], trong khi Russell và Norvig (2009) nhấn mạnh vai trò của khả năng học tập và ra quyết định thông minh của hệ thống [8]. Trong quản lý tòa nhà, AI hỗ trợ tự động hóa quá trình điều khiển thiết bị, dự đoán sự cố, tối ưu hóa năng lượng và nâng cao an ninh.

Internet vạn vật (IoT) được Khodadadi và các cộng sự (2016) xem là mạng lưới các thiết bị vật lý kết nối Internet, có khả năng thu thập, truyền tải và phản hồi dữ liệu theo thời gian thực [9]. Mạng IoT trong tòa nhà thông minh cho phép tích hợp các cảm biến, bộ điều khiển và nền tảng giám sát, giúp nhà quản lý vận hành thiết bị từ xa một cách hiệu quả.

Dữ liệu lớn (Big Data) đóng vai trò phân tích và trích xuất thông tin từ khối dữ liệu lớn, đa dạng và thay đổi liên tục. Nhờ đó, hệ thống quản lý có thể nhận diện xu hướng hoạt động của tòa nhà, dự báo nhu cầu năng lượng, phát hiện bất thường và hỗ trợ ra quyết định dựa trên bằng chứng.

Trong khi đó, công nghệ Blockchain cung cấp cơ chế lưu trữ dữ liệu phân tán, đảm bảo tính minh bạch và bảo mật của các giao dịch và hợp đồng số, đặc biệt quan trọng trong quản lý thông tin cư dân, thanh toán dịch vụ và kiểm soát truy cập.

Các định nghĩa quốc tế về ĐTTM đều nhấn mạnh tầm quan trọng của các công nghệ trên. Theo Ramaprasad và các cộng sự (2017), ĐTTM là sự kết hợp đồng bộ giữa công nghệ, chính quyền và xã hội để tạo nên nền kinh tế thông minh, môi trường thông minh, con người thông minh và quản trị thông minh [10]. De Guimarães và các cộng sự (2020) nhấn mạnh ĐTTM sử dụng công nghệ thông tin và truyền thông (CNTT&TT) để nâng cao chất lượng sống, khả năng làm việc và bảo đảm phát triển

bền vững [11]. Kaiser và các cộng sự (2025) tiếp cận ĐTTM dưới góc độ bền vững, hướng tới tối ưu hóa dịch vụ công, nâng cao hiệu quả quản lý và đảm bảo khả năng đáp ứng nhu cầu lâu dài của cư dân [12].

3.3 Mô hình quản lý tòa nhà bằng công nghệ 4.0 điển hình trên thế giới

Trên cơ sở tổng quan các nghiên cứu trước đây, tác giả nhận định rằng mỗi mô hình quản lý tòa nhà được đặc trưng bởi những nhóm công nghệ riêng biệt, được lựa chọn và triển khai nhằm đáp ứng các mục tiêu quản lý cụ thể.

Mô hình tích hợp IoT và AI nổi bật nhờ khả năng kết nối toàn diện và phân tích thông minh. IoT giúp thu thập dữ liệu thời gian thực từ cảm biến về nhiệt độ, ánh sáng, an ninh và tiêu thụ năng lượng, trong khi AI xử lý và tối ưu hóa dữ liệu này. Công nghệ trí tuệ nhân tạo lai biên (Edge AI) đặc biệt nổi trội, cho phép xử lý dữ liệu ngay tại thiết bị mà không cần gửi đến đám mây, giúp giảm độ trễ và tăng tính bảo mật. Ví dụ, tòa nhà Intempo ở Tây Ban Nha tích hợp IoT và AI để tự động hóa hệ thống điều hòa HVAC và ánh sáng, đồng thời phát hiện hành vi bất thường qua camera thông minh [13].

Mô hình tòa nhà tự cung tự cấp năng lượng áp dụng các công nghệ năng lượng tái tạo như pin mặt trời, năng lượng gió và hệ thống lưu trữ pin tiên tiến. Các tòa nhà như Bullitt Center tại Mỹ và Edge ở Hà Lan không chỉ tận dụng năng lượng tái tạo mà còn sử dụng hệ thống quản lý năng lượng thông minh [14, 15]. Hệ thống này sử dụng dữ liệu IoT và AI để tối ưu hóa việc sử dụng năng lượng, đồng thời kết nối với lưới điện quốc gia để trao đổi năng lượng khi cần thiết, đảm bảo hiệu suất hoạt động liên tục và bền vững.

Mô hình tòa nhà kết nối cộng đồng sử dụng các nền tảng kỹ thuật số và công nghệ IoT để thúc đẩy sự tương tác giữa cư dân. Các nền tảng này cho phép cư dân tham gia các sự kiện xã hội, chia sẻ tài nguyên như phòng họp, không gian làm việc hoặc xe đạp. Ví dụ, The Collective Old Oak ở London cung cấp phòng gym, khu bếp chung và các sự kiện cộng đồng để tăng cường kết nối cư dân [16]. Công nghệ AI trong mô hình này còn dự đoán nhu cầu và gợi ý các dịch vụ phù hợp, nâng cao trải nghiệm sống.

Mô hình tòa nhà tự học và thích ứng tích hợp AI và học máy (ML) để phân tích dữ liệu lịch sử, từ đó dự đoán và đáp ứng nhu cầu tương lai. Tòa nhà Edge tại Amsterdam, và IBM Watson IoT HQ tại Munich ứng dụng công nghệ này để quản lý thông minh hệ thống HVAC và ánh sáng, tự động điều chỉnh theo thói quen người dùng [17]. Hệ thống tự học này còn giúp phát hiện sớm các vấn đề kỹ thuật, tối ưu hóa bảo trì và tiết kiệm năng lượng đáng kể.

Các công nghệ nổi bật trong các mô hình này không chỉ cải thiện hiệu quả vận hành mà còn thúc đẩy sự bền vững và hiện đại hóa đô thị. Chúng đóng vai trò quan trọng trong việc xây dựng các đô thị thông minh, đáp ứng nhu cầu ngày càng cao của cư dân.

3.4 Tính cấp thiết trong việc ứng dụng công nghệ 4.0 vào quản lý vận hành tòa nhà

Theo ý kiến nhận định từ 19 chuyên gia thì để xây dựng hệ thống hiệu quả thì cần có những đề xuất mang tính toàn diện, thực tiễn và linh hoạt trong triển khai, bao gồm:

Tính toàn diện và tích hợp: Giải pháp quản lý cần tích hợp các hệ thống khác nhau như quản lý năng lượng, an ninh, giám sát và bảo trì vào một nền tảng duy nhất. Điều này giúp tối ưu hóa hoạt động và cung cấp góc nhìn toàn diện về tình trạng tòa nhà.

Tính thông minh và tự động hóa: Công nghệ cần hỗ trợ các hệ thống thông minh như cảm biến IoT, trí tuệ nhân tạo (AI) và phân tích dữ liệu lớn (Big Data) để tự động hóa quy trình, phát hiện vấn đề sớm và đưa ra quyết định nhanh chóng, chính xác.

Tính tiện lợi và trải nghiệm người dùng: Hệ thống phải dễ sử dụng, cung cấp giao diện thân thiện và hỗ trợ người dùng trong việc truy cập thông tin, kiểm soát và quản lý các thiết bị từ xa qua các ứng dụng di động hoặc web.

Tính bảo mật và an toàn: Việc đảm bảo bảo mật dữ liệu và an toàn hệ thống là yếu tố quan trọng. Cần áp dụng các biện pháp như mã hóa, kiểm soát truy cập và giám sát liên tục để bảo vệ thông tin và ngăn chặn rủi ro.

Tính kinh tế và hiệu quả: Giải pháp cần mang lại giá trị kinh tế thông qua việc giảm chi phí vận hành, tiết kiệm năng lượng và tăng hiệu suất quản lý.

Tính bền vững: Hệ thống phải hỗ trợ các mục tiêu phát triển bền vững như tiết kiệm năng lượng, giảm khí thải và sử dụng hiệu quả tài nguyên, góp phần bảo vệ môi trường.

3.5. Rào cản và thách thức trong việc ứng dụng công nghệ 4.0 vào quản lý tòa nhà

Hiện tại, việc ứng dụng công nghệ 4.0 vào quản lý và điều hành tòa nhà tại Việt Nam đang gặp nhiều thuận lợi nhưng cũng không ít thách thức.

Thứ nhất là yếu tố kinh tế, bao gồm chi phí đầu tư ban đầu, hiệu quả kinh tế và khả năng hoàn vốn của các dự án. Đây là rào cản lớn nhất đối với nhiều chủ đầu tư, đặc biệt là các tòa nhà tầm trung hoặc có nguồn vốn hạn chế.

Thứ hai, yếu tố nhân sự đóng vai trò quan trọng, bao gồm năng lực chuyên môn của đội ngũ kỹ thuật và sự sẵn sàng trong việc học hỏi, thích nghi với công nghệ mới.

Thứ ba, hạ tầng công nghệ cũng được coi là một yếu tố quyết định, bao gồm sự sẵn có của các thiết bị IoT, AI, và mạng lưới internet tốc độ cao.

Thứ tư, khung pháp lý ảnh hưởng trực tiếp đến việc triển khai công nghệ, trong đó các tiêu chuẩn kỹ thuật và quy định quản lý còn chưa đồng bộ, dẫn đến sự lúng túng trong quá trình triển khai.

Cuối cùng, yếu tố an ninh mạng là một thách thức lớn khi các hệ thống công nghệ ngày càng phụ thuộc vào internet và dữ liệu, dẫn đến nguy cơ bị tấn công mạng hoặc rò rỉ thông tin.

4. ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ 4.0 VÀO QUẢN LÝ VẬN HÀNH TÒA NHÀ VÀ NÂNG CAO HIỆU QUẢ SỬ DỤNG

Để thúc đẩy việc ứng dụng công nghệ 4.0 vào quản lý và vận hành tòa nhà, cần có những giải pháp cụ thể và khả thi. Các giải pháp sau được đề xuất dựa trên thực trạng, phân tích các nhân tố ảnh hưởng, và kinh nghiệm từ các dự án điển hình:

Thứ nhất, Chính phủ cần ban hành đồng thời các cơ chế khuyến khích và yêu cầu bắt buộc nhằm thúc đẩy việc áp dụng các hệ thống quản lý tòa nhà theo định hướng Công nghệ 4.0. Cụ thể, Nhà nước có thể áp dụng các chính sách ưu đãi về thuế, tín dụng hoặc hỗ trợ kỹ thuật đối với các dự án đầu tư triển khai hệ thống quản lý tòa nhà thông minh (BMS/IBMS, quản lý năng lượng, giám sát môi trường trong nhà). Song song đó, cần từng bước đưa các yêu cầu tối thiểu về mức độ số hóa và tích hợp hệ thống quản lý vận hành vào hệ thống tiêu chuẩn, quy chuẩn kỹ thuật đối với các công trình mới và các tòa nhà có quy mô lớn, nhằm đảm bảo hiệu quả vận hành, tiết kiệm năng lượng và phát triển bền vững trong dài hạn.

Thứ hai, cần ưu tiên nâng cấp và triển khai hệ thống quản lý năng lượng thông minh (Energy Management System - EMS) trong các tòa nhà. Thực tiễn cho thấy, Landmark 81 tại TP.HCM đã áp dụng hệ thống EMS tích hợp các cảm biến IoT nhằm theo dõi mức tiêu thụ điện năng theo từng khu vực chức năng. Trên cơ sở dữ liệu thu thập được, hệ thống cho phép tự động điều khiển thiết bị điện khi không có nhu cầu sử dụng, dự báo nhu cầu năng lượng theo các khung giờ cao điểm và hỗ trợ đề xuất các phương án sử dụng năng lượng tối ưu. Cách tiếp cận này góp phần nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng, giảm chi phí vận hành và tăng tính bền vững trong quản lý tòa nhà.

Thứ ba, cần thúc đẩy triển khai các hệ thống an ninh thông minh tích hợp công nghệ AI và IoT trong quản lý - vận hành tòa nhà và khu đô thị. Thực tế cho thấy, tại một số khu đô thị hiện đại như Vinhomes Smart City, hệ thống an ninh đã ứng dụng công nghệ nhận diện khuôn mặt, camera AI phân tích hành vi và các thiết bị IoT để giám sát không gian công cộng và khu vực chức năng quan trọng. Các dữ liệu thu thập được được truyền về trung tâm điều khiển tập trung, cho phép phát hiện sớm và xử lý kịp thời các tình huống rủi ro như xâm nhập trái phép, hành vi bất thường, cháy nổ hoặc vi phạm kiểm soát truy cập. Việc tích hợp AI và IoT trong an ninh không chỉ

nâng cao mức độ an toàn, mà còn góp phần giảm phụ thuộc vào giám sát thủ công và nâng cao hiệu quả quản lý tổng thể.

Thứ tư, cần xây dựng và triển khai nền tảng quản lý cư dân và vận hành tòa nhà thông qua ứng dụng di động như một kênh tương tác số hóa chủ đạo. Nền tảng này cho phép cư dân tiếp cận và quản lý các dịch vụ thiết yếu như tra cứu phí quản lý, hóa đơn điện nước, thông báo vận hành, đồng thời gửi yêu cầu sửa chữa hoặc phản ánh các vấn đề phát sinh trực tiếp đến ban quản lý. Thông qua việc tập trung hóa dữ liệu và chuẩn hóa quy trình xử lý trên nền tảng số, ứng dụng di động góp phần nâng cao tính minh bạch, cải thiện tốc độ phản hồi và tăng hiệu quả phối hợp giữa cư dân và ban quản lý trong công tác vận hành tòa nhà.

Thứ năm, cần tăng cường các biện pháp bảo mật nhằm chủ động ứng phó với các mối đe dọa an ninh mạng trong quản lý và vận hành tòa nhà số hóa. Thực tiễn quốc tế cho thấy, tại Singapore, nhiều tòa nhà và khu đô thị thông minh đã triển khai mô hình bảo mật đa lớp, kết hợp các giải pháp xác thực, mã hóa dữ liệu và công nghệ blockchain trong quản lý thông tin cư dân. Cách tiếp cận này giúp đảm bảo tính toàn vẹn, minh bạch và khả năng truy vết dữ liệu, đồng thời giảm thiểu nguy cơ rò rỉ hoặc can thiệp trái phép vào các hệ thống quản lý. Việc chú trọng an ninh mạng được xem là điều kiện tiên quyết để duy trì niềm tin của người sử dụng và bảo đảm tính bền vững của mô hình quản lý tòa nhà 4.0.

Cuối cùng, việc áp dụng các giải pháp năng lượng tái tạo, đặc biệt là điện mặt trời, có tính khả thi cao đối với các tòa nhà dân cư và thương mại tại Việt Nam. Mô hình triển khai tại FPT Complex Đà Nẵng cho thấy hệ thống pin mặt trời trên mái có thể được tích hợp hiệu quả vào hạ tầng tòa nhà hiện hữu, giúp giảm chi phí vận hành dài hạn và tăng mức độ tự chủ năng lượng. Với điều kiện bức xạ mặt trời thuận lợi tại các khu vực như miền Trung và miền Nam, mô hình này hoàn toàn có thể được nhân rộng, đặc biệt khi kết hợp với các chính sách khuyến khích và cơ chế hỗ trợ phù hợp.

5. NGHIÊN CỨU ĐIỂN HÌNH

Ký túc xá Trường Cao đẳng Lý Tự Trọng TP.HCM được lựa chọn làm trường hợp nghiên cứu nhằm xem xét mức độ vận dụng các giải pháp ứng dụng công nghệ 4.0 trong quản lý và vận hành tòa nhà. Đây là công trình nơi tác giả tham gia triển khai một số giải pháp quản lý thông minh.

Hình 2. Ký túc xá sinh viên

Trong quá trình triển khai, các giải pháp dưới đây được triển khai nhằm cải thiện hiệu quả quản lý ký túc xá và nâng cao chất lượng dịch vụ cho sinh viên.

Thứ nhất, lắp đặt hệ thống quản lý năng lượng thông minh. Một mạng lưới cảm biến IoT có thể được triển khai nhằm giám sát mức tiêu thụ điện năng tại từng phòng. Hệ thống này sẽ tự động điều chỉnh việc sử dụng điện dựa trên dữ liệu thu thập, ví dụ như tắt điều hòa và đèn khi không có sinh viên trong phòng. Điều này không chỉ giúp giảm lãng phí năng lượng mà còn tối ưu hóa chi phí vận hành của ký túc xá.

Bảng 4: Thông số kỹ thuật của hệ thống BMS lắp đặt

THÔNG SỐ KỸ THUẬT CỦA PHẦN MỀM QUẢN LÝ BMS	
Tên phần mềm	Desigo CC Management Station
Xuất xứ	EU/G7
Cấu trúc phần mềm	Server/Client và Web, cơ sở dữ liệu xây dựng trên nền tảng Microsoft SQL Server.

Cấp độ an ninh IT	SAL1
Đồ họa (Graphic)	Đồ họa vector, hỗ trợ 2D và 3D, có khả năng nhập từ file Autocad, có thể phân thành nhiều lớp.
Sự kiện và cảnh báo	Hỗ trợ thanh tóm tắt, danh sách sự kiện, xử lý nhanh, điều tra xử lý, hỗ trợ xử lý, ghi nhận sự kiện.
Kết nối Video	Hiển thị theo thời gian thực, xoay và phóng to thu nhỏ, ghi nhận trạng thái camera, phát lệnh cho camera, hỗ trợ màn hình ghép (Video wall)
Báo cáo (Report)	Hỗ trợ lập kế hoạch báo cáo, biểu mẫu báo cáo được thiết lập theo nhu cầu. Hỗ trợ báo cáo dạng đồ họa, dạng bảng, dạng đồ thị. Hỗ trợ xuất báo cáo ra file pdf, csv
Kế hoạch (Scheduling)	Kế hoạch cho trạm vận hành, Xem dòng thời gian, Kế hoạch cho hệ thống phụ, lệnh cho hệ thống phụ
Đồ thị khuynh hướng (Trend)	Hỗ trợ khuynh hướng lịch sử và khuynh hướng động, so sánh thời gian luân phiên, khuynh hướng trạm vận hành, khuynh hướng hệ thống phụ
Phản ứng (Reactions)	Theo thời gian, COV/COS, theo sự kiện được kích hoạt, theo Macros
Giao tiếp (Interface)	Hỗ trợ các giao tiếp BACnet (B-AWS), OPC Client, OPC Server, ONVIF, SNMP, WMI, HTTP(S), DWG, DXF, TAP, SMTP, PO3, IMAP for email delivery, XNET, Axis . . .
Truy cập	Hỗ trợ thông báo qua email, truy cập qua web, Hỗ trợ ứng dụng trên điện thoại smartphone để truy cập vào BMS.
Người dùng (User)	Thiết lập người dùng (user) theo nguyên tắc Xác thực hệ thống và window (System & Windows Authentication), Quyền áp dụng và đối tượng (Application and object rights), nhóm người dùng (User groups), Hồ sơ người dùng (Profiles)
Script Editor	Ngôn ngữ Javascript
Cấp độ phần mềm phải đạt chứng nhận BTL	Cấp độ B-AWS (BACnet Advanced Operator Workstation)
Tiêu chuẩn áp dụng	UL, ULC, EN, BTL, AMEV

Thứ hai, nâng cao hệ thống an ninh. Hệ thống camera tích hợp trí tuệ nhân tạo (AI) và cơ chế kiểm soát ra vào bằng thẻ từ được đề xuất để đảm bảo an ninh cho sinh viên. Camera AI sẽ nhận diện khuôn mặt và giám sát các hành vi bất thường trong khu vực ký túc xá, giúp ban quản lý nhanh chóng phát hiện các vấn đề như hành vi phá hoại hoặc xâm nhập trái phép.

Thứ ba, triển khai ứng dụng di động kết nối sinh viên và ban quản lý. Một ứng dụng quản lý nội bộ có thể hỗ trợ sinh viên báo cáo các sự cố trong phòng ở, nhận thông báo từ ban quản lý, và đặt lịch sử dụng các tiện ích chung như phòng học, khu vực giặt là. Điều này tạo ra sự tiện lợi và cải thiện tương tác giữa sinh viên và ban quản lý.

Thứ tư, áp dụng nguồn năng lượng tái tạo. Hệ thống pin mặt trời nhỏ có thể được lắp đặt trên mái ký túc xá để cung cấp năng lượng cho các khu vực công cộng như đèn hành lang, khu sinh hoạt chung hoặc hệ thống thang máy. Đây là giải pháp bền vững, góp phần tiết kiệm chi phí và bảo vệ môi trường.

Các giải pháp ban đầu triển khai không chỉ mang tính khả thi mà còn phù hợp với điều kiện thực tế tại ký túc xá Trường Cao đẳng Lý Tự Trọng. Việc áp dụng những công nghệ này hứa hẹn sẽ cải thiện hiệu quả quản lý và vận hành, đồng thời nâng cao trải nghiệm sống của sinh viên trong ký túc xá.

6. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này làm rõ tiềm năng và tính khả thi của việc ứng dụng công nghệ 4.0 trong quản lý và vận hành tòa nhà, đồng thời đề xuất các giải pháp nhằm nâng cao hiệu quả quản lý, tối ưu chi phí và cải thiện trải nghiệm cư dân. Các giải pháp như quản lý năng lượng thông minh, hệ thống cảm biến IoT, tích hợp AI trong an ninh và sử dụng năng lượng tái tạo không chỉ đáp ứng yêu cầu vận hành hiện tại mà còn tạo nền tảng cho phát triển bền vững

trong dài hạn.

Nghiên cứu nhấn mạnh vai trò then chốt của công nghệ 4.0 trong thúc đẩy phát triển đô thị thông minh và bền vững. Việc ứng dụng các công nghệ này giúp nâng cao hiệu quả vận hành tòa nhà, giảm chi phí và tiêu thụ tài nguyên, đồng thời cải thiện chất lượng môi trường sống theo hướng tiện nghi, an toàn và thân thiện với cư dân. Bên cạnh đó, các hệ thống quản lý thông minh góp phần tăng cường tính minh bạch trong vận hành và quản trị tài nguyên, qua đó nâng cao hiệu quả sử dụng nguồn lực ở quy mô đô thị.

Về dài hạn, các giải pháp công nghệ 4.0 cũng mở ra triển vọng lớn trong việc ứng phó với những thách thức hiện đại, bao gồm nhu cầu ngày càng cao về không gian sống thông minh, tiết kiệm năng lượng và bảo vệ môi trường. Những cải tiến này sẽ trở thành nhân tố chính trong việc xây dựng các đô thị thông minh trên quy mô lớn, giúp các thành phố không chỉ hiện đại hơn mà còn thích ứng linh hoạt với các biến đổi kinh tế và xã hội trong tương lai.

Tóm lại, việc ứng dụng công nghệ 4.0 vào quản lý tòa nhà không chỉ mang ý nghĩa thực tiễn trong ngắn hạn mà còn đóng vai trò quan trọng trong chiến lược phát triển bền vững lâu dài, góp phần tạo nên các đô thị thông minh, hiệu quả và đáng sống.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] K. Schwab (2017). The fourth industrial revolution. New York: US, ed: Random House USA Inc.

[2] L.D. Xu, E.L. Xu, and L. Li (2018). Industry 4.0: state of the art and future trends, *International Journal of Production Research,* 56(8), 2941-2962.

[3] J.G. Mooney and M.L. Williams (2024). Enabling Technologies of the Fourth Industrial Revolution, in *Handbook of Research on Strategic Leadership in the Fourth Industrial Revolution*: Edward Elgar Publishing, 35-61.

[4] U. Chatterjee, G.S. Bhunia, D. Mahata, and U. Singh (2021). Smart cities and their role in enhancing quality of life, in *Quality of Life*: CRC Press, 127-143.

[5] *Smart City Framework: Guide to establishing strategies for smart cities and communities*, 2014.

[6] R. E. Bellman (1978). *Artificial intelligence: Can computers think?* Boyd & Fraser Publishing Company.

[7] K. Knight (1992). Integrating knowledge acquisition and language acquisition, *Journal of Applied Intelligence,* 1(4), 277-295.

[8] P. Norvig and S.J. Russell (1995). Artificial intelligence a modern approach, ed: Prentice hall.

[9] F. Khodadadi, A.V. Dastjerdi, and R. Buyya (2016). Internet of things: an overview, *Journal of Internet of things,* 3-27.

[10] A. Ramaprasad, A. Sánchez-Ortiz, and T. Syn (2017). A unified definition of a smart city, in *International Conference on Electronic Government*, 13-24: Springer.

[11] J.C.F. De Guimarães, E.A. Severo, L.A.F. Júnior, W.P.L.B. Da Costa, and F.T. Salmoria (2020). Governance and quality of life in smart cities: Towards sustainable development goals, *Journal of Cleaner Production,* 253, 119926.

[12] Z.A. Kaiser and A. Deb (2025). Sustainable smart city and Sustainable Development Goals (SDGs): a review, *Journal of Regional Sustainability,* 6(1), 100193.

[13] T. Lê. (2021). *Tòa nhà cao nhất EU hoàn thành sau 12 năm chậm tiến độ*. https://znews.vn/toa-nha-cao-nhat-eu-hoan-thanh-sau-12-nam-cham-tien-do-post1241266.html

[14] J. Homchick Crowe (2020). Architectural advocacy: The Bullitt Center and environmental design, *Journal of Environmental Communication,* 14(2), 236-254.

[15] T. Phạm. (2015). *Công nghệ hiện đại trong tòa nhà thông minh tại Amsterdam*. https://kienviet.net/2015/9/26/cong-nghe-hien-dai-trong-toa-na-thong-minh-tai-amsterdam

[16] A. Martin (2016). Urban Co-Living as an Emerging Typology: The Collective, Old Oak, London, London: University of Westminster.

[17] P. Kumar (2016). Internet of Things (IoT) development platforms-A case of IBM Bluemix," Universität Koblenz.