



Ngày nhận bài: 23/9/2026; Ngày thẩm định: 19/10/2026; Ngày duyệt đăng: 23/10/2026.

CHUYỂN ĐỔI SỐ ĐÀO TẠO PHÒNG CHÁY CHỮA CHÁY VÀ CỨU NẠN, CỨU HỘ: ĐỊNH HƯỚNG ỨNG DỤNG MÔ PHỎNG SỐ, BẢN SAO SỐ VÀ DỮ LIỆU THỜI GIAN THỰC TRONG MÔ HÌNH TRƯỜNG CÔNG AN SỐ

Trung tướng, PGS, TS LÊ QUANG BÓN

Giám đốc Học viện Phòng cháy chữa cháy và Cứu nạn cứu hộ

*Tác giả liên hệ: Lê Quang Bón (Email: Mrfour@gmail.com)

Tóm tắt: Bài viết trình bày định hướng chuyển đổi số trong đào tạo phòng cháy chữa cháy và cứu nạn, cứu hộ (PCCC và CNCH) trên cơ sở ứng dụng mô phỏng số, bản sao số và dữ liệu thời gian thực. Khác với việc số hóa học liệu hoặc sử dụng riêng lẻ các phần mềm hỗ trợ giảng dạy, chuyển đổi số đào tạo cần hướng tới kết nối người học, giảng viên, phương tiện, môi trường huấn luyện và các hệ thống quản lý thông qua dữ liệu. Trên cơ sở phân tích đặc điểm của đào tạo PCCC và CNCH, bài viết đề xuất mô hình tổng thể gồm 05 thành phần chính: không gian đào tạo thực; hệ thống kết nối và thu nhận dữ liệu; không gian mô hình và dữ liệu số; hệ thống phân tích, xử lý thông minh; hệ thống quản trị đào tạo số. Trong mô hình này, mô phỏng số được sử dụng để tạo và tái hiện các tình huống; dữ liệu thời gian thực phản ánh trạng thái của người, phương tiện và môi trường; bản sao số tạo sự liên kết giữa các đối tượng thực với biểu diễn tương ứng trong môi trường số. Một số kết quả nghiên cứu khoa học và công nghệ đã được thực hiện tại Học viện được sử dụng để làm rõ cơ sở thực tiễn và khả năng phát triển mô hình. Bài viết đồng thời đề xuất chu trình dữ liệu trong đào tạo và các mức phát triển từ số hóa, kết nối, dữ liệu hóa đến bản sao số và ứng dụng trí tuệ nhân tạo, làm cơ sở từng bước hình thành môi trường đào tạo dựa trên dữ liệu trong mô hình trường Công an số.

Từ khóa: chuyển đổi số, trường Công an số, PCCC và CNCH, mô phỏng số, bản sao số, dữ liệu thời gian thực, đào tạo số.

Abstract: This article outlines an orientation for digital transformation in fire and rescue training based on the integration of digital simulation, digital twin technology, and real-time data. Rather than merely digitizing instructional materials or using standalone educational software, digital transformation in training should aim to interconnect learners, instructors, equipment, training environments, and management systems through data. Based on an analysis of the characteristics of fire and rescue training, the article proposes a comprehensive model comprising five core components: physical training space; connection and data acquisition systems; digital modeling and data space; intelligent processing and analytics systems; and digital training management systems. Within this model, digital simulations are utilized to create and replicate scenarios; real-time data reflects the state of personnel, equipment, and environment; and digital twins establish dynamic links between physical entities and their corresponding digital representations. Select results from scientific and technological research conducted at the Academy serve to demonstrate practical foundations and the potential for model development. Furthermore, the article proposes a training data lifecycle and progressive development levels—spanning digitization, connectivity, datafication, digital twinning, and artificial intelligence integration—laying the groundwork for incrementally establishing a data-driven training environment within the model of a digital public security higher educational institution.

Keywords: digital transformation, digital public security higher educational institution, fire and rescue, digital simulation, real-time data, digital training.

1. Mở đầu

Sự phát triển nhanh của khoa học và công nghệ trong những năm gần đây đang làm thay đổi phương thức tổ chức hoạt động trong nhiều lĩnh vực, trong đó có giáo dục và đào tạo. Công nghệ trí tuệ nhân tạo (Artificial Intelligence - AI), Internet vạn vật (Internet of Things - IoT), hệ thống cảm biến, mô phỏng số, thực tế ảo (Virtual Reality - VR), thực tế tăng cường (Augmented Reality - AR) và các nền tảng dữ liệu cho phép nhiều hoạt động trước đây chỉ có thể thực hiện trực tiếp trong môi trường thực được mô hình hóa, quan sát và phân tích trong môi trường số. Đối với giáo dục, tác động của công nghệ không còn dừng lại ở việc chuyển giáo trình sang dạng điện tử hoặc sử dụng phần mềm hỗ trợ quản lý lớp học mà đang từng bước hình thành các môi trường đào tạo trong đó hoạt động của người học có thể được ghi nhận bằng dữ liệu, kết quả được phân tích và sử dụng để điều chỉnh nội dung cũng như phương pháp đào tạo.

Nghị quyết số 57-NQ/TW ngày 22/12/2024 của Bộ Chính trị xác định phát triển khoa học, công nghệ, đổi mới sáng tạo và chuyển đổi số là đột phá quan trọng hàng đầu; trong đó thể chế, nhân lực, hạ tầng, dữ liệu và công nghệ chiến lược là những nội dung trọng tâm, cốt lõi. Nghị quyết đồng thời yêu cầu phát triển các viện nghiên cứu, trường đại học trở thành các chủ thể nghiên cứu mạnh, kết hợp chặt chẽ giữa nghiên cứu, ứng dụng và đào tạo; tăng cường đầu tư, đổi mới và nâng cao chất lượng giáo dục, đào tạo để đáp ứng yêu cầu phát triển khoa học, công nghệ, đổi mới sáng tạo và chuyển đổi số [1]. Những yêu cầu này cho thấy chuyển đổi số trong cơ sở giáo dục không chỉ là một nhiệm vụ về công nghệ thông tin mà cần gắn với đổi mới phương thức đào tạo, nghiên cứu khoa học, quản lý và khai thác dữ liệu.

Đối với các học viện, trường Công an nhân dân (CAND), yêu cầu trên đặt ra vấn đề chuyển đổi số phải đi vào chính hoạt động đào tạo nghiệp vụ, thay vì chỉ tập trung số hóa văn bản, quản lý người học hoặc triển khai các phần mềm hành chính. Có thể xem đây là sự chuyển từ cơ sở đào tạo có ứng dụng

nhiều công nghệ thông tin sang mô hình trường Công an số, trong đó hoạt động quản lý, giảng dạy, học tập, nghiên cứu khoa học và khai thác cơ sở vật chất từng bước được kết nối thông qua dữ liệu. Khi đó, công nghệ không phải là phần bổ sung bên ngoài quá trình đào tạo mà trở thành một thành phần của chính quá trình tổ chức hoạt động, giúp những nội dung phù hợp có thể được mô phỏng, đo lường, tái hiện và phân tích.

Đào tạo PCCC và CNCH có nhiều đặc điểm phù hợp để nghiên cứu cách tiếp cận này. Nội dung đào tạo không chỉ gồm kiến thức lý thuyết mà còn có tỷ lệ lớn hoạt động thực hành, huấn luyện kỹ thuật, chiến thuật và xử lý tình huống. Nhiều tình huống cháy, nổ, tai nạn hoặc sự cố diễn ra trong môi trường nguy hiểm, trong khi việc tổ chức huấn luyện thực tế cần có phương tiện, cơ sở vật chất, nhiên liệu và các biện pháp bảo đảm an toàn. Mặt khác, điều kiện trong mỗi lần thực hành khó hoàn toàn giống nhau nên việc cho nhiều học viên thực hiện cùng một tình huống, so sánh kết quả hoặc tái hiện chính xác một sai sót sau khi kết thúc bài tập vẫn có những hạn chế nhất định. Đây là những vấn đề mà công nghệ mô phỏng, cảm biến, thực tế ảo và phân tích dữ liệu có khả năng hỗ trợ giải quyết.

Thực tế trong nhiều năm qua cho thấy tại Học viện đã có các nghiên cứu liên quan đến phần mềm mô phỏng, mô hình hóa đám cháy, cảm biến, hệ thống thông minh và công nghệ thực tế ảo. Tuy nhiên, các kết quả này chủ yếu được hình thành theo từng bài toán và từng nhiệm vụ khoa học cụ thể. Trong giai đoạn chuyển đổi số hiện nay, vấn đề cần tiếp tục nghiên cứu ở mức tổng thể hơn là khả năng kết nối các kết quả, thiết bị và phần mềm thành một kiến trúc chung, trong đó dữ liệu đóng vai trò liên kết giữa môi trường đào tạo thực, môi trường mô phỏng và hệ thống quản trị. Xuất phát từ các vấn đề thực tiễn đó, bài viết nghiên cứu định hướng ứng dụng mô phỏng số, bản sao số và dữ liệu thời gian thực trong chuyển đổi số đào tạo PCCC và CNCH, đồng thời đề xuất mô hình tổng thể và lộ trình phát triển phù hợp với mô hình trường Công an số.

2. Cơ sở của chuyển đổi số đào tạo phòng cháy chữa cháy và cứu nạn, cứu hộ

2.1. Từ số hóa đến đào tạo dựa trên dữ liệu

Số hóa và chuyển đổi số có mối quan hệ chặt chẽ nhưng không hoàn toàn đồng nhất. Trong hoạt động đào tạo, số hóa trước hết là quá trình chuyển tải liệu, hồ sơ và thông tin từ dạng truyền thống sang dạng số. Giáo trình giấy được chuyển thành tệp điện tử, hồ sơ học viên được lưu trong cơ sở dữ liệu (CSDL) hoặc kết quả học tập được quản lý trên phần mềm đều là những biểu hiện của quá trình này. Ở mức cao hơn, hệ thống quản lý học tập (Learning Management System - LMS) cho phép tổ chức bài giảng, giao nhiệm vụ, kiểm tra, trao đổi và theo dõi quá trình học trên môi trường mạng. Tuy nhiên, những hoạt động trên về cơ bản vẫn có thể giữ nguyên phương thức tổ chức đào tạo trước đây và chỉ thay đổi công cụ được sử dụng.

Chuyển đổi số đào tạo cần được hiểu ở phạm vi rộng hơn, trong đó dữ liệu và công nghệ tham gia làm thay đổi cách tổ chức hoạt động. Đối với đào tạo PCCC và CNCH, phần cần chuyển đổi không chỉ là giáo trình hoặc công tác quản lý mà còn bao gồm quá trình thực hành và huấn luyện. Nếu trước đây kết quả một bài thực hành chủ yếu được ghi nhận bằng điểm và nhận xét của giảng viên thì khi có thiết bị và hệ thống phù hợp, quá trình thực hiện có thể tạo ra dữ liệu về thời gian, vị trí, trình tự thao tác, trạng thái phương tiện và diễn biến của tình huống. Những dữ liệu này không thay thế đánh giá của giảng viên nhưng giúp bổ sung căn cứ khách quan để phân tích, cho phép người học xem lại quá trình thực hiện và tạo nguồn dữ liệu phục vụ nghiên cứu, điều chỉnh chương trình hoặc phương pháp huấn luyện.

Từ cách tiếp cận trên có thể xem quá trình chuyển đổi số đào tạo diễn ra theo hướng từ số hóa nội dung, đến kết nối hệ thống, tiếp tục dữ liệu hóa hoạt động và cuối cùng sử dụng dữ liệu để phân tích và hỗ trợ quyết định. Trong đó, trí tuệ nhân tạo chỉ có thể phát huy hiệu quả khi dữ liệu đã được thu nhận có hệ thống, bảo đảm chất lượng và có ý nghĩa đối với bài toán đào tạo. Vì vậy, AI không nên được xem là điểm bắt đầu của chuyển đổi số mà là một thành

phần được hình thành trên nền tảng dữ liệu và hạ tầng đã được phát triển từ các giai đoạn trước.

2.2. Mô phỏng số

Mô phỏng số là việc sử dụng các mô hình toán học, mô hình vật lý hoặc thuật toán máy tính để tái hiện trạng thái và sự thay đổi của một đối tượng, hiện tượng hoặc quá trình trong thực tế. Trong lĩnh vực PCCC, các mô hình tính toán đã được sử dụng để nghiên cứu sự phát triển của đám cháy, quá trình truyền nhiệt, chuyển động của khói, khí độc, tác động của hệ thống thông gió và các hiện tượng có liên quan. Fire Dynamics Simulator (FDS) do Viện Tiêu chuẩn và Công nghệ Quốc gia Hoa Kỳ (National Institute of Standards and Technology - NIST) phát triển là một ví dụ điển hình về mô hình động lực học chất lưu tính toán dành cho dòng chảy do cháy, trong đó tập trung vào quá trình vận chuyển nhiệt và khói [9].

Giá trị của mô phỏng trong đào tạo không chỉ nằm ở khả năng tính toán các đại lượng vật lý mà còn ở khả năng tạo tình huống phục vụ người học. Một mô hình công trình có thể tạo nhiều trường hợp khác nhau thông qua việc thay đổi nguồn cháy, điều kiện thông gió, đường thoát nạn hoặc các yếu tố tác động. Mức độ chi tiết của mô hình cần phụ thuộc vào mục tiêu đào tạo: có nội dung đòi hỏi độ chính xác vật lý cao, nhưng cũng có nội dung chỉ cần tái hiện hợp lý diễn biến và phản ứng của môi trường. Cách lựa chọn này giúp bảo đảm giá trị huấn luyện mà không làm tăng không cần thiết độ phức tạp tính toán.

Khi kết hợp với thực tế ảo (VR) hoặc thực tế tăng cường (AR), mô phỏng có thể chuyển từ việc quan sát trên màn hình sang môi trường cho phép người học trực tiếp tham gia. Người học có thể di chuyển trong không gian ba chiều, thực hiện thao tác và quan sát sự thay đổi của tình huống theo hành động của mình. Các nghiên cứu gần đây về đào tạo lực lượng phản ứng đầu tiên cũng đang phát triển theo hướng kết hợp VR, AR và bản sao số (Digital Twin) để tạo môi trường huấn luyện có tính tương tác và khả năng thích nghi cao hơn [10]. Tuy nhiên, một mô hình mô phỏng vẫn có thể hoạt động hoàn toàn độc lập với đối tượng thực. Đây là điểm cần phân biệt khi xem xét khái niệm bản sao số.

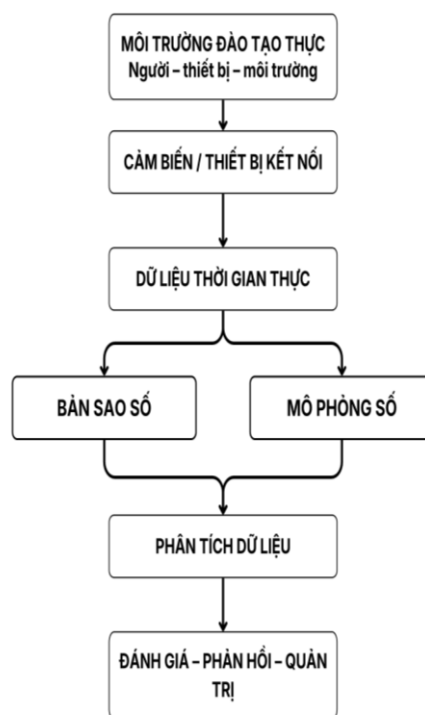
2.3. Dữ liệu thời gian thực và bản sao số

Dữ liệu thời gian thực là dữ liệu được thu nhận, truyền và xử lý với độ trễ đủ nhỏ để phản ánh trạng thái của đối tượng hoặc quá trình đang diễn ra. Trong một hoạt động đào tạo PCCC và CNCH, nguồn dữ liệu có thể được hình thành từ người học, phương tiện, thiết bị, môi trường hoặc từ chính phần mềm mô phỏng. Thiết bị theo dõi chuyển động có thể cung cấp vị trí và hướng; cảm biến trên phương tiện phản ánh trạng thái hoạt động; camera có thể ghi nhận hành vi; cảm biến môi trường có thể cung cấp các thông số về nhiệt độ, khói hoặc khí. Khi những nguồn dữ liệu này sử dụng một trục thời gian thống nhất, quá trình thực hiện bài tập có thể được tái dựng sau khi kết thúc thay vì chỉ tồn tại dưới dạng nhận xét hoặc kết quả cuối cùng.

Bản sao số có thể được hiểu là biểu diễn số của một đối tượng, hệ thống hoặc quá trình thực có liên kết với đối tượng thực thông qua dữ liệu [11]. Một mô hình ba chiều chỉ thể hiện hình dạng của công trình chưa phải là bản sao số nếu trạng thái của mô hình không được cập nhật từ công trình thực. Tương tự, một nhân vật trong môi trường thực tế ảo chưa phải là bản sao số của người học nếu nó chỉ thực hiện các chuyển động được lập trình trước. Khi vị trí, trạng thái hoặc hoạt động của đối tượng thực được thu nhận và truyền sang biểu diễn số tương ứng, mô hình bắt đầu có các đặc điểm của bản sao số.

Các nghiên cứu gần đây cho thấy hướng tiếp cận này có khả năng ứng dụng trong lĩnh vực PCCC và ứng cứu khẩn cấp. Hệ thống GUIDE2FR kết hợp bản sao số của công trình với cảm biến môi trường, video, nền tảng quản lý dữ liệu và mô hình dự báo nhằm nâng cao khả năng nhận biết tình huống [5]. Một nghiên cứu khác năm 2025 đã kết hợp trí tuệ nhân tạo với Internet vạn vật và bản sao số của công trình nhiều tầng, sử dụng dữ liệu cảm biến để tái tạo trường nhiệt và dự báo vùng nguy hiểm trước khoảng thời gian ngắn phục vụ hỗ trợ chữa cháy [6]. Các kết quả trên cho thấy bản sao số không nên được xem là một mô hình ba chiều độc lập mà là hệ thống có sự kết hợp giữa mô hình, dữ liệu, kết nối và xử lý thông tin.

Từ các phân tích trên, quan hệ giữa mô phỏng số, dữ liệu thời gian thực và bản sao số có thể được biểu diễn như Hình 1. Trong đó, mô phỏng số cung cấp khả năng tái hiện hoặc dự báo; dữ liệu thời gian thực phản ánh trạng thái đang diễn ra; bản sao số liên kết trạng thái của đối tượng thực với biểu diễn tương ứng trong không gian số. Khi các thành phần này tiếp tục được kết nối với hệ thống quản trị đào tạo, dữ liệu của quá trình thực hành có thể được sử dụng để đánh giá và điều chỉnh hoạt động đào tạo.



Hình 1: Khung khái niệm ứng dụng mô phỏng số, dữ liệu thời gian thực và bản sao số trong đào tạo.

3. Mô hình chuyển đổi số đào tạo phòng cháy chữa cháy và cứu nạn, cứu hộ

3.1. Nguyên tắc xây dựng mô hình

Trong phạm vi bài viết, trường Công an số được xem là mô hình cơ sở đào tạo trong CAND mà các hoạt động quản lý, đào tạo, nghiên cứu khoa học và khai thác cơ sở vật chất từng bước được tổ chức trên nền tảng số và liên kết bằng dữ liệu. Cách hiểu này được sử dụng làm cơ sở xây dựng mô hình nghiên cứu, trong đó yếu tố quan trọng không phải là số lượng phần mềm hoặc thiết bị số được trang bị mà là khả năng các hệ thống cùng tham gia vào một quá trình thống nhất. Một cơ sở đào tạo có thể sử dụng nhiều phần mềm nhưng nếu dữ liệu giữa các hệ

thống không trao đổi được thì kết quả vẫn chủ yếu là các ứng dụng độc lập.

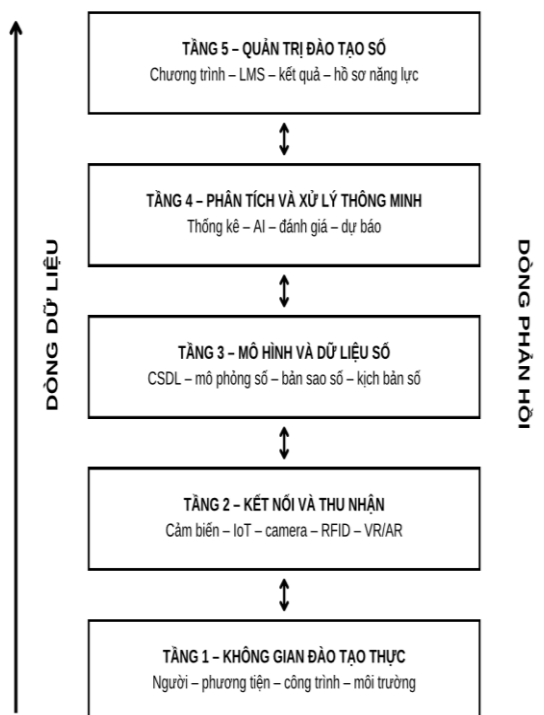
Mô hình chuyển đổi số đào tạo PCCC và CNCH do đó cần được xây dựng theo hướng lấy yêu cầu đào tạo làm cơ sở lựa chọn công nghệ và lấy dữ liệu làm yếu tố kết nối. Nếu một nội dung cần tạo ra tình huống nguy hiểm mà thực tế khó tổ chức thường xuyên thì mô phỏng hoặc VR có thể là giải pháp phù hợp; nếu cần đánh giá quá trình di chuyển thì hệ thống định vị hoặc camera có thể được sử dụng; nếu cần phản ánh trạng thái của phương tiện thì cảm biến trở thành thành phần cần thiết. Trình tự này giúp hạn chế tình trạng lựa chọn một công nghệ có sẵn rồi tìm nội dung để áp dụng, trong khi giá trị thực tế đối với người học có thể không tương xứng với chi phí đầu tư.

Mô hình cũng phải bảo đảm sự kết hợp giữa môi trường thực và môi trường số. PCCC và CNCH là lĩnh vực có nhiều kỹ năng liên quan trực tiếp đến thể lực, sức chịu đựng, cảm giác sử dụng thiết bị và khả năng phối hợp giữa con người. Những yếu tố này không thể được thay thế hoàn toàn bằng môi trường ảo. Vì vậy, mục tiêu của chuyển đổi số không phải chuyển tất cả nội dung huấn luyện sang mô phỏng mà cần xác định nội dung nào nên thực hiện trong môi trường số, nội dung nào phải duy trì thực hành thực tế và dữ liệu giữa các môi trường được liên kết như thế nào.

3.2. Kiến trúc tổng thể

Từ các yêu cầu trên, bài viết đề xuất mô hình gồm năm thành phần chính như Hình 2. Thành phần thứ nhất là không gian đào tạo thực, bao gồm người học, giảng viên, phòng học, thao trường, công trình, phương tiện và thiết bị. Thành phần thứ hai là hệ thống kết nối và thu nhận dữ liệu, giữ vai trò chuyển trạng thái của các đối tượng cần theo dõi thành dữ liệu số; các công nghệ có thể sử dụng gồm cảm biến, IoT, camera, nhận dạng bằng tần số vô tuyến (Radio Frequency Identification - RFID), VR và AR. Thành phần thứ ba là không gian mô hình và dữ liệu số, trong đó tập trung dữ liệu đào tạo, mô hình mô phỏng, các biểu diễn số và bản sao số. Thành phần thứ tư thực hiện phân tích và xử lý thông minh, còn thành phần trên cùng là hệ thống quản trị đào tạo,

nơi kết quả được liên kết với chương trình, bài học và hồ sơ năng lực của người học.



Hình 2: Mô hình tổng thể chuyển đổi số đào tạo PCCC và CNCH.

Không gian đào tạo thực vẫn là nền tảng của mô hình. Điểm thay đổi là những hoạt động cần thiết có thể được kết nối với hệ thống số để ghi nhận dữ liệu. Việc lựa chọn loại dữ liệu phải xuất phát từ mục tiêu của bài học. Nếu chỉ cần xác định thời gian hoàn thành thì hệ thống bấm giờ tự động có thể đáp ứng yêu cầu; nếu cần phân tích hướng di chuyển hoặc thao tác với phương tiện thì phải bổ sung dữ liệu về vị trí, tư thế hoặc trạng thái của thiết bị. Việc thu quá nhiều dữ liệu khi chưa xác định mục đích sử dụng vừa làm tăng chi phí vừa gây khó khăn cho lưu trữ và xử lý.

Không gian mô hình và dữ liệu số giữ vai trò trung tâm do tập trung dữ liệu được hình thành từ nhiều nguồn. Trong cùng hệ thống có thể tồn tại dữ liệu học viên, dữ liệu thiết bị, mô hình ba chiều, kết quả mô phỏng, kịch bản đào tạo và dữ liệu quá trình thực hành. Để có khả năng liên thông, mỗi sự kiện cần gắn với các thông tin tối thiểu gồm thời điểm, người học hoặc đối tượng liên quan, nguồn sinh dữ liệu, bài tập hoặc kịch bản và giá trị được ghi nhận. Nếu các hệ thống sử dụng một nguyên tắc định danh và đồng bộ thời gian thống nhất thì dữ liệu của nhiều

thiết bị và nhiều lần thực hành mới có khả năng được kết hợp để tái dựng hoạt động.

Ở lớp phân tích, những thông số có thể xác định khách quan như thời gian phản ứng, số lần thao tác, vị trí, khoảng cách hoặc trình tự hành động có thể được hệ thống tự động xử lý. Các phương pháp AI có thể được sử dụng để nhận dạng một số hành động hoặc phát hiện những trường hợp bất thường khi dữ liệu và độ chính xác của thuật toán đáp ứng yêu cầu. Tuy nhiên, nhiều tiêu chí về chỉ huy, nhận thức tình huống hoặc chất lượng quyết định vẫn cần được giảng viên và chuyên gia nghiệp vụ đánh giá. Do đó, hướng phù hợp là sử dụng máy tính để đo những thông số có thể đo chính xác, còn kết quả cuối cùng tiếp tục kết hợp với đánh giá chuyên môn của giảng viên.

Yêu cầu đào tạo	Công nghệ có thể sử dụng	Dữ liệu chủ yếu	Mục đích
Tạo tình huống khó tổ chức trong thực tế	Mô phỏng, VR, AR	Tham số và diễn biến kịch bản	Học tập, huấn luyện
Theo dõi hoạt động thực hành	Cảm biến, camera, IoT	Thời gian, vị trí, trạng thái	Hỗ trợ đánh giá
Liên kết đối tượng thực và số	Bản sao số	Trạng thái đồng bộ	Tái dựng, theo dõi
Phân tích quá trình	Thống kê, AI	Chỉ số và đặc trưng	Phát hiện lỗi, phản hồi
Quản lý kết quả	LMS, cơ sở dữ liệu	Hồ sơ học tập, kỹ năng	Quản trị và điều chỉnh

Bảng 1: Quan hệ giữa yêu cầu đào tạo, công nghệ và dữ liệu.

Bảng 1 cho thấy công nghệ chỉ là phương tiện được lựa chọn để đáp ứng một yêu cầu đào tạo cụ thể. Một nội dung không cần môi trường nhập vai thì không nhất thiết phải sử dụng VR; một bài thực hành không cần theo dõi vị trí thì không cần trang bị hệ thống định vị. Nguyên tắc này có ý nghĩa trong điều

kiện triển khai thực tế vì giúp tập trung đầu tư vào những thành phần tạo ra dữ liệu có giá trị và trực tiếp hỗ trợ nâng cao chất lượng đào tạo.

3.3. Chu trình dữ liệu trong đào tạo

Một điểm quan trọng của mô hình đề xuất là dữ liệu không kết thúc sau khi bài thực hành hoàn thành. Trong phương thức truyền thống, một chu trình thường gồm tổ chức bài học, thực hành, kiểm tra và cho điểm. Khi hoạt động được dữ liệu hóa, kết quả của một lần thực hành có thể trở thành đầu vào cho lần học tiếp theo (Hình 3). Trên cơ sở dữ liệu thu nhận, hệ thống có thể được thiết kế để hỗ trợ xác định những kỹ năng người học đã thực hiện tốt, những nội dung còn hạn chế và các bài tập cần tiếp tục luyện tập. Đây là cơ sở để từng bước chuyển từ quản lý điểm số sang quản lý quá trình hình thành năng lực.



Hình 3. Chu trình dữ liệu trong đào tạo PCCC và CNCH số.

Chu trình này cũng tạo cơ sở cho việc khai thác dữ liệu trong nghiên cứu khoa học. Khi cùng một bài thực hành được tổ chức qua nhiều khóa học, dữ liệu có thể cho phép phân tích các lỗi thường gặp, mức độ tiến bộ theo số lần luyện tập, sự khác biệt giữa các phương pháp hướng dẫn hoặc ảnh hưởng của

mức độ khó của kịch bản tới kết quả. Như vậy, đào tạo vừa sử dụng kết quả của nghiên cứu khoa học, vừa tạo ra dữ liệu để tiếp tục nghiên cứu và hoàn thiện công nghệ.

4. Cơ sở thực tiễn và khả năng ứng dụng của mô hình

4.1. Một số nền tảng khoa học và công nghệ đã được hình thành

Định hướng xây dựng mô hình trên có cơ sở từ các kết quả nghiên cứu khoa học và công nghệ đã được triển khai tại Học viện qua nhiều giai đoạn, trong đó nhiều nhiệm vụ được thực hiện khi đơn vị còn mang tên Trường Đại học PCCC. Theo tài liệu thống kê nhiệm vụ khoa học và công nghệ giai đoạn 2000 đến tháng 6/2026, danh mục gồm 6 đề tài cấp Nhà nước, 68 đề tài cấp Bộ và 157 đề tài cấp cơ sở. Trong số đó có nhiều nhiệm vụ liên quan đến công nghệ thông tin, phần mềm mô phỏng, cảm biến, thiết bị thông minh và đào tạo, cho thấy việc ứng dụng khoa học và công nghệ trong lĩnh vực PCCC và CNCH đã được thực hiện qua nhiều giai đoạn khác nhau [9].

Nếu xem xét riêng các nhiệm vụ có liên quan trực tiếp đến mô hình đề xuất, có thể nhận thấy một quá trình phát triển từ phần mềm tính toán và mô phỏng đến môi trường tương tác và thu nhận dữ liệu. Năm 2009 có đề tài “Nghiên cứu xây dựng phần mềm thiết kế mô phỏng hoạt động của hệ thống cung cấp nước chữa cháy cho nhà và công trình” [4]; năm 2013 có đề tài “Nghiên cứu xây dựng phần mềm mô hình hóa đám cháy và các hoạt động dập tắt đám cháy tại các bể chứa sản phẩm dầu mỏ” [3]. Ở cấp cơ sở, năm 2018 có đề tài “Xây dựng phần mềm mô phỏng sự thay đổi một số thông số của đám cháy diễn ra trong phòng” [6] và năm 2021 có đề tài “Xây dựng phần mềm mô phỏng quá trình phát triển của đám cháy và đề xuất phương án chữa cháy cho loại hình nhà ở kết hợp sản xuất, kinh doanh” [2]. Những kết quả này cho thấy mô hình số và phần mềm chuyên ngành đã từng bước được sử dụng để biểu diễn các đối tượng và quá trình nghiệp vụ.

Một bước phát triển khác là việc kết hợp môi trường số với thao tác trực tiếp của người học. Đề tài cấp Bộ năm 2022 “Nghiên cứu xây dựng phòng học

ảo trên nền tảng công nghệ thực tế ảo tăng cường ứng dụng trong huấn luyện chữa cháy, cứu nạn và cứu hộ” đã nghiên cứu xây dựng hệ thống tích hợp kính VR, phần mềm mô phỏng và các thiết bị chữa cháy được gắn thiết bị định vị, điều khiển. Trạng thái của thiết bị được truyền về máy tính và phản ánh trong môi trường ảo, qua đó cho phép người học vừa thao tác với thiết bị vừa tương tác với tình huống mô phỏng [8].

Kết quả của hướng nghiên cứu trên cho thấy hoạt động thực hành có thể được tổ chức theo cách người học thực hiện thao tác trong môi trường mô phỏng, nhận phản hồi sau bài tập và lưu kết quả vào cơ sở dữ liệu phục vụ theo dõi, phân tích. Như vậy, mặc dù mục tiêu ban đầu tập trung vào ứng dụng công nghệ VR, trong kiến trúc của hệ thống đã xuất hiện các thành phần quan trọng gồm đối tượng thực, thiết bị định vị và điều khiển, truyền dữ liệu, môi trường mô phỏng và cơ sở dữ liệu kết quả [8]. Đây là cơ sở thực tiễn để tiếp tục nghiên cứu theo hướng kết nối dữ liệu của quá trình huấn luyện thay vì chỉ phát triển nội dung mô phỏng độc lập.

Những năm gần đây tiếp tục có các hướng nghiên cứu liên quan đến dữ liệu không gian và cảm biến. Năm 2023, công nghệ phát hiện và đo khoảng cách bằng ánh sáng (Light Detection and Ranging - LiDAR) được nghiên cứu trong đề tài “Nghiên cứu, chế tạo hệ thống thiết bị quan sát hiện trường đám cháy dựa trên cảm biến LiDAR” [7]. Năm 2025 có nhiệm vụ nghiên cứu tích hợp phát hiện khí độc, xây dựng bản đồ ba chiều (three-dimensional - 3D) và quan sát hình ảnh hiện trường hỗ trợ công tác tìm kiếm cứu nạn dưới hang sâu, hố sâu [5]. Những nhiệm vụ này chưa tạo thành một hệ thống bản sao số thống nhất, nhưng cho thấy các thành phần cần thiết như cảm biến, dữ liệu không gian, mô hình ba chiều, kết nối và phần mềm chuyên ngành đã từng bước được nghiên cứu.

Qua các kết quả trên có thể nhận thấy vấn đề trong giai đoạn tiếp theo không nhất thiết là xây dựng lại toàn bộ các thành phần công nghệ mà quan trọng hơn là tạo ra kiến trúc và nền tảng dữ liệu để các kết quả có khả năng kế thừa và kết nối. Nếu mỗi

nhiệm vụ khoa học tiếp tục xây dựng một cơ sở dữ liệu, một cơ chế định danh và một phương thức kết nối riêng thì sản phẩm sau nghiệm thu khó được sử dụng trong một hệ thống lớn hơn. Ngược lại, nếu có quy định chung về dữ liệu và giao diện kết nối, các sản phẩm khoa học và công nghệ mới có thể trở thành các thành phần của cùng một môi trường đào tạo số. Đây là một trong những nội dung cần được quan tâm khi gắn hoạt động nghiên cứu khoa học với quá trình thực hiện Nghị quyết 57-NQ/TW, trong đó trường đại học được định hướng trở thành chủ thể nghiên cứu mạnh và tăng cường kết hợp giữa nghiên cứu, ứng dụng và đào tạo.

4.2. Khả năng ứng dụng trong đào tạo và giáo dục kỹ năng

Mô hình đề xuất có thể được áp dụng ở nhiều mức độ khác nhau trong đào tạo PCCC và CNCH. Đối với nội dung lý thuyết, mô phỏng số có thể trực quan hóa những hiện tượng khó quan sát như quá trình lan truyền khói, sự thay đổi nhiệt độ hoặc diễn biến đám cháy trong công trình. Ở các bài thực hành kỹ thuật, người học có thể luyện tập trên thiết bị thật, thiết bị mô phỏng hoặc môi trường kết hợp thực - ảo, trong đó một số thông số cần thiết được ghi nhận làm căn cứ đánh giá. Với huấn luyện chiến thuật và chỉ huy, môi trường mô phỏng có thể tạo các diễn biến khác nhau, còn dữ liệu hỗ trợ tái hiện quá trình xử lý sau bài tập để giảng viên và người học cùng phân tích các quyết định đã thực hiện.

Cách tiếp cận này không yêu cầu mọi nội dung đào tạo phải sử dụng cùng một công nghệ. Có bài học chỉ cần video hoặc mô phỏng trên màn hình; có nội dung phù hợp với AR; một số kỹ năng cần thiết bị vật lý và cảm biến, trong khi những tình huống nguy hiểm hoặc khó tổ chức thực tế mới cần môi trường VR nhập vai. Khi các hoạt động sử dụng chung nền tảng quản lý và dữ liệu, kết quả của người học qua nhiều hình thức vẫn có thể được liên kết thành một quá trình từ học kiến thức, luyện kỹ năng đến đánh giá năng lực.

Ngoài đào tạo chính khóa, hạ tầng này có thể được nghiên cứu mở rộng cho hoạt động phổ biến kiến thức và giáo dục kỹ năng an toàn PCCC và

CNCH cho cộng đồng. Người tham gia có thể được đặt vào các tình huống mô phỏng an toàn để thực hiện những thao tác phù hợp với từng nhóm đối tượng, chẳng hạn luyện báo tin sự cố, nhận diện nguy cơ cháy trong nhà ở hoặc lựa chọn và sử dụng phương tiện chữa cháy tại chỗ. Tùy mục tiêu giáo dục, hệ thống có thể kết hợp mô hình vật lý, cảm biến, camera, màn hình tương tác hoặc các công nghệ thực tế mở rộng để tạo phản hồi cho người tham gia.

Mặc dù vậy, hoạt động phổ biến kiến thức và giáo dục kỹ năng an toàn PCCC và CNCH cho cộng đồng, nếu được đầu tư thỏa đáng theo mô hình đề xuất, cũng có thể trở thành một thành tố quan trọng trong hệ sinh thái số phục vụ đào tạo, bồi dưỡng và phổ biến kiến thức về PCCC và CNCH trong giai đoạn mới. Theo hướng đó, các hoạt động dành cho cộng đồng có thể khai thác chung một số thành phần của hạ tầng đào tạo số như nền tảng kịch bản, mô hình số, hệ thống quản lý dữ liệu, công cụ tương tác và đánh giá; tuy nhiên, nội dung, mức độ phức tạp, thời lượng và tiêu chí đánh giá cần được thiết kế phù hợp với từng nhóm đối tượng. Cách tổ chức này vừa mở rộng phạm vi khai thác của các kết quả nghiên cứu và hạ tầng đã đầu tư, vừa tạo điều kiện hình thành sự liên kết giữa đào tạo chuyên ngành, bồi dưỡng nghiệp vụ và giáo dục kỹ năng an toàn cho cộng đồng trên cùng một nền tảng công nghệ và dữ liệu.

5. Các mức phát triển và một số vấn đề cần quan tâm khi triển khai

Chuyển đổi số đào tạo PCCC và CNCH là quá trình cần thực hiện từng bước và phụ thuộc vào mức độ hoàn thiện của hạ tầng, dữ liệu và nguồn nhân lực. Việc xây dựng ngay một hệ thống bản sao số hoặc triển khai AI trên toàn bộ hoạt động đào tạo trong khi các cơ sở dữ liệu còn rời rạc sẽ khó tạo hiệu quả. Trên cơ sở mô hình đã trình bày, bài viết đề xuất năm mức phát triển nhằm xác định trình tự ưu tiên trong triển khai (Bảng 2).

Ở mức đầu tiên, nhiệm vụ trọng tâm là chuẩn hóa dữ liệu hiện có, đặc biệt là định danh người học, chương trình, học phần, bài học và kết quả. Mức thứ hai tập trung vào khả năng liên thông, hạn chế tình trạng cùng một dữ liệu phải nhập ở nhiều phần mềm

khác nhau. Đến mức thứ ba, một số hoạt động thực hành và mô phỏng được kết nối để thu dữ liệu quá trình. Khi cơ sở đào tạo đã có kinh nghiệm vận hành, nguồn dữ liệu đủ ổn định và xác định được các bài toán phù hợp thì mới phát triển bản sao số ở mức thứ tư. Việc ứng dụng AI ở mức thứ năm cần dựa trên dữ liệu đã được kiểm tra về chất lượng và phải có cơ chế đánh giá độ chính xác trước khi sử dụng kết quả vào những quyết định liên quan trực tiếp đến người học.

Mức	Nội dung chủ yếu	Kết quả cần đạt
M1 - Số hóa	Giáo trình, chương trình, hồ sơ, kết quả học tập	Hình thành dữ liệu nền
M2 - Kết nối	Liên thông hệ thống, thống nhất định danh	Hình thành môi trường số dùng chung
M3 - Mô phỏng và dữ liệu hóa	Mô phỏng, cảm biến, thu dữ liệu quá trình	Hoạt động đào tạo tạo ra dữ liệu
M4 - Bản sao số	Liên kết đối tượng thực với biểu diễn số	Kết nối môi trường thực và số
M5 - Thông minh	AI, dự báo, hỗ trợ đánh giá và điều chỉnh	Đào tạo dựa trên dữ liệu

Bảng 2: Các mức phát triển đề xuất đối với chuyển đổi số đào tạo PCCC và CNCH.

Các mức trên không có nghĩa toàn bộ Nhà trường phải đồng thời đạt cùng một trạng thái. Một học phần lý thuyết có thể chỉ cần triển khai tốt ở mức số hóa và kết nối, trong khi một phòng huấn luyện chuyên sâu có thể phát triển tới mức bản sao số. Việc lựa chọn một số bài toán có giá trị thực tiễn cao để thực hiện thí điểm sẽ phù hợp hơn triển khai dần trải. Đào tạo PCCC và CNCH có lợi thế trong việc lựa chọn thí điểm vì nhu cầu mô phỏng, thực hành và đánh giá kỹ năng tương đối rõ, đồng thời đã có một số kết quả khoa học và công nghệ có khả năng kế thừa.

Một vấn đề cần quan tâm đầu tiên trong triển khai là xây dựng kiến trúc tổng thể và nền tảng dữ liệu dùng chung. Nếu mỗi đơn vị hoặc mỗi nhiệm vụ nghiên cứu tiếp tục tạo ra hệ thống riêng thì chi phí

tích hợp về sau sẽ rất lớn. Các quy định về định danh, cấu trúc dữ liệu, giao diện trao đổi, xác thực người dùng và phân quyền cần được xác định trước để các sản phẩm mới có thể kết nối vào hệ thống. Từ góc độ này, chuyển đổi số không nhất thiết bắt đầu bằng việc mua thêm nhiều thiết bị mà trước hết phải giải quyết khả năng tổ chức và sử dụng dữ liệu.

Nguồn nhân lực ảnh hưởng trực tiếp tới tính khả thi của mô hình. Chuyển đổi số đào tạo không thể chỉ giao cho bộ phận công nghệ thông tin vì phần quan trọng nhất là xác định tiêu chí nghiệp vụ và giá trị của dữ liệu đối với đào tạo. Giảng viên cần hiểu khả năng và giới hạn của công nghệ để lựa chọn cách tổ chức bài học, trong khi đội ngũ kỹ thuật cần hiểu nghiệp vụ để xây dựng hệ thống đúng yêu cầu. Do đó, triển khai mô hình cần sự phối hợp giữa giảng viên chuyên ngành, cán bộ quản lý đào tạo, chuyên gia mô phỏng, dữ liệu và công nghệ. Đây cũng là yêu cầu phù hợp với định hướng phát triển nhân lực chất lượng cao và nâng cao chất lượng giáo dục, đào tạo trong Nghị quyết 57-NQ/TW.

Bên cạnh đó, an ninh và an toàn dữ liệu phải được xem xét ngay từ quá trình thiết kế. Khi hệ thống không chỉ lưu điểm mà còn lưu hình ảnh, dữ liệu chuyển động, thông tin thiết bị, mô hình công trình hoặc kịch bản nghiệp vụ thì tính chất của dữ liệu trở nên phức tạp hơn. Cần xác định dữ liệu nào được thu, mục đích sử dụng, thời gian lưu trữ, người có quyền truy cập và phạm vi chia sẻ. Các giải pháp phân quyền, sao lưu, mã hóa và ghi nhật ký truy cập cần được triển khai cùng với hệ thống chứ không nên bổ sung sau khi phần mềm đã hoàn thành.

Cuối cùng, công nghệ phải được lựa chọn từ yêu cầu đào tạo. VR, bản sao số hoặc AI không phải là mục tiêu cuối cùng và không phải bài học nào áp dụng các công nghệ này cũng có hiệu quả cao hơn. Một số kỹ năng vẫn có thể được đào tạo tốt nhất bằng phương pháp thực hành truyền thống. Giá trị của chuyển đổi số nằm ở việc bổ sung những khả năng mà phương thức cũ khó thực hiện, như tái tạo tình huống nguy hiểm nhiều lần, đo lường quá trình thao tác, tái dựng bài tập sau khi kết thúc hoặc khai thác dữ liệu của nhiều người học để cải tiến phương pháp đào tạo.

6. Kết luận

Bài viết đã trình bày định hướng ứng dụng mô phỏng số, bản sao số và dữ liệu thời gian thực trong chuyển đổi số đào tạo PCCC và CNCH. Mô phỏng số có vai trò tạo và tái hiện tình huống; dữ liệu thời gian thực giúp ghi nhận trạng thái của người, phương tiện và môi trường; bản sao số tạo liên kết giữa đối tượng thực với biểu diễn tương ứng trong không gian số. Khi các thành phần này được tích hợp với hệ thống quản trị đào tạo, quá trình thực hành có thể từng bước được lưu dữ liệu, tái dựng và phân tích sau khi kết thúc thay vì chỉ được quan sát tại thời điểm thực hiện.

Trên cơ sở đó, bài viết đề xuất mô hình gồm năm thành phần: không gian đào tạo thực; kết nối và thu nhận dữ liệu; mô hình và dữ liệu số; phân tích và xử lý thông minh; quản trị đào tạo số. Điểm quan trọng của mô hình không nằm ở một công nghệ cụ thể mà ở khả năng liên kết các thành phần bằng dữ liệu. Chu trình dữ liệu được đề xuất cho phép kết quả thực hành có thể tiếp tục được sử dụng để cập nhật hồ sơ năng lực, hỗ trợ điều chỉnh nội dung đào tạo và tạo nguồn dữ liệu phục vụ nghiên cứu khoa học.

Các nhiệm vụ khoa học và công nghệ đã được triển khai tại Nhà trường cho thấy một số thành phần của mô hình như phần mềm mô phỏng, mô hình hóa đám cháy, cảm biến, dữ liệu không gian và môi trường VR đã từng bước được nghiên cứu. Đặc biệt, đề tài xây dựng phòng học ảo năm 2022 đã nghiên cứu khả năng tích hợp thiết bị thực với môi trường VR, truyền trạng thái thiết bị và lưu kết quả phục vụ đánh giá [8]. Đây là cơ sở thực tiễn để tiếp tục nghiên cứu theo hướng tích hợp và sử dụng dữ liệu chung thay vì phát triển các ứng dụng độc lập.

Bên cạnh đào tạo chuyên ngành, một số thành phần của hạ tầng số có thể được nghiên cứu mở rộng sang hoạt động phổ biến kiến thức và trải nghiệm kỹ năng an toàn PCCC và CNCH cho cộng đồng. Đây là khả năng khai thác mở rộng của mô hình; nội dung, mức độ và phương thức đánh giá vẫn cần được thiết kế phù hợp với từng nhóm đối tượng. Cách tổ chức này tạo điều kiện để kết quả nghiên cứu khoa học được sử dụng trong đào tạo, tiếp tục hoàn thiện

thông qua dữ liệu và có khả năng phát triển thành các ứng dụng phục vụ thực tế.

Trong quá trình thực hiện Nghị quyết số 57-NQ/TW, chuyển đổi số đào tạo PCCC và CNCH cần được thực hiện theo lộ trình từ số hóa, kết nối, dữ liệu hóa đến bản sao số và ứng dụng trí tuệ nhân tạo. Kiến trúc thống nhất, nền tảng dữ liệu dùng chung, nguồn nhân lực có khả năng kết hợp nghiệp vụ với công nghệ và cơ chế bảo đảm an ninh, an toàn dữ liệu là những điều kiện quan trọng để các kết quả khoa học và công nghệ tiếp tục được tích hợp và khai thác trong hoạt động đào tạo. Đây là cơ sở để từng bước hình thành môi trường đào tạo dựa trên dữ liệu, góp phần xây dựng mô hình trường Công an số đáp ứng yêu cầu phát triển khoa học, công nghệ, đổi mới sáng tạo và chuyển đổi số trong giai đoạn hiện nay. ■

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Bộ Chính trị (2024), *Nghị quyết số 57-NQ/TW ngày 22/12/2024 về đột phá phát triển khoa học, công nghệ, đổi mới sáng tạo và chuyển đổi số quốc gia*, Hà Nội.
2. Mai Danh Giang (2021), *Xây dựng phần mềm mô phỏng quá trình phát triển của đám cháy và đề xuất phương án chữa cháy cho loại hình nhà ở kết hợp sản xuất, kinh doanh*, Đề tài khoa học cấp Cơ sở, Trường Đại học PCCC, Hà Nội.
3. Nguyễn Minh Khương (2013), *Nghiên cứu xây dựng phần mềm mô hình hóa đám cháy và các hoạt động dập tắt đám cháy tại các bể chứa sản phẩm dầu mỏ*, Đề tài khoa học cấp Bộ, Trường Đại học PCCC, Hà Nội.
4. Đinh Thúy Lan (2009), *Nghiên cứu xây dựng phần mềm thiết kế mô phỏng hoạt động của hệ thống cung cấp nước chữa cháy cho nhà và công trình*, Đề tài khoa học cấp Bộ, Trường Đại học PCCC, Hà Nội.
5. Phạm Văn Thành (2025), *Nghiên cứu tích hợp hệ thống phát hiện khí độc, vẽ bản đồ 3D và quan sát hình ảnh hiện trường hỗ trợ công tác tìm kiếm cứu nạn dưới hang sâu, hố sâu, mã số BCN.2025.T06.06*, Đề tài khoa học cấp Bộ, Trường Đại học PCCC, Hà Nội.

6. Trần Thị Thịnh (2018), *Xây dựng phần mềm mô phỏng sự thay đổi một số thông số của đám cháy diễn ra trong phòng*, Đề tài khoa học cấp Cơ sở, Trường Đại học PCCC, Hà Nội.
7. Đặng Tuấn Tú (2023), *Nghiên cứu, chế tạo hệ thống thiết bị quan sát hiện trường đám cháy dựa trên cảm biến LiDAR*, mã số BCN.2023.T06.03, Đề tài khoa học cấp Bộ, Trường Đại học PCCC, Hà Nội.
8. Phạm Thanh Tùng (2022), *Nghiên cứu xây dựng phòng học ảo trên nền tảng công nghệ thực tế ảo tăng cường ứng dụng trong huấn luyện chữa cháy, cứu nạn và cứu hộ*, Đề tài khoa học cấp Bộ, Trường Đại học PCCC, Hà Nội.
9. Trường Đại học PCCC (2026), *Thống kê các nhiệm vụ khoa học và công nghệ của Trường Đại học PCCC giai đoạn từ năm 2000 - 2026*, Số liệu tính đến tháng 6/2026, Tài liệu nội bộ, Hà Nội.
9. K. B. McGrattan, R. J. McDermott, C. G. Weinschenk, G. P. Forney, *Fire Dynamics Simulator*, Technical Reference Guide, Sixth Edition, NIST Special Publication 1018, National Institute of Standards and Technology, 2013, DOI: 10.6028/NIST.SP.1018.
10. N. Partarakis, T. Evdaimon, M. Katsantonis, X. Zabulis, *Training First Responders Through VR-Based Situated Digital Twins*, Computers, Vol. 14, No. 7, 274, 2025, DOI: 10.3390/computers14070274.
11. D. Jones, C. Snider, A. Nassehi, J. Yon, B. Hicks, *Characterising the Digital Twin: A systematic literature review*, CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, Vol. 29, pp. 36-52, 2020, DOI: 10.1016/j.cirpj.2020.02.002.
12. M. Delgado Álvaro, R. Novak, P. R. Fernández Barbosa, I. Chicano Capelo, M. Gallego, M. C. Rodriguez-Sanchez, *GUIDE2FR: A smart monitoring platform with a digital twin of a firefighter training tower for emergency scenarios*, Internet of Things, Vol. 34, 101768, 2025, DOI: 10.1016/j.iot.2025.101768.
13. W. Xie, Y. Zeng, X. Zhang, H. Y. Wong, T. Zhang, Z. Wang, X. Wu, J. Shi, X. Huang, F. Xiao, A. Usmani, *AIoT-powered building digital twin for smart firefighting and super real-time fire forecast*, Advanced Engineering Informatics, Vol. 65, 103117, 2025, DOI: 10.1016/j.aei.2025.103117.