

THÔNG TIN KHOA HỌC

XU HƯỚNG PHÁT TRIỂN CÔNG NGHỆ CỦA CUỘC CÁCH MẠNG CÔNG NGHIỆP LẦN THỨ IV ĐỐI VỚI LĨNH VỰC XÂY DỰNG

Bạch Đình Thiên^a

^aViện trưởng, Viện nghiên cứu và ứng dụng Vật liệu xây dựng Nhiệt đới, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, 55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam

Sự phát triển của ngành xây dựng trong sự phát triển của cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ IV (Công nghiệp 4.0) đang là đề tài được nhiều nhà khoa học tiếp cận nghiên cứu để có sự thống nhất chung nhằm làm rõ xu hướng phát triển công nghệ của cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ IV đối với lĩnh vực xây dựng, trong đó có ngành vật liệu xây dựng [1].

Vật liệu xây dựng là cơ sở vật chất của xây dựng, một trong những ngành sử dụng nhiều tài nguyên và năng lượng nhất. Đây là hoạt động sáng tạo nhất trong xây dựng, vì trong khoa học vật liệu xây dựng, có thể nhanh chóng nhận được kết quả và thử nghiệm các đổi mới công nghệ cao. Một phần đáng kể của các vật liệu được sử dụng ngày nay, dưới dạng này hay dạng khác, đã được biết đến từ hàng chục và hàng trăm năm. Và trong những năm và thập kỷ tới, có lẽ không nên mong đợi sự xuất hiện của một loại vật liệu xây dựng khác biệt về chất lượng và cơ bản, sẽ thay thế ở ạt các vật liệu truyền thống tương tự. Bê tông đang và sẽ tiếp tục đáp ứng nhu cầu của thế giới sống.

Sự phát triển của nhân loại gắn bó chặt chẽ với sự tiến bộ của khoa học và kỹ thuật, bằng chứng là một số cuộc cách mạng công nghiệp. Cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ I hay còn gọi là cuộc đại cách mạng công nghiệp diễn ra ở các quốc gia phát triển hàng đầu của thế giới vào thế kỷ XVIII-XIX và là do quá trình chuyển đổi ở ạt từ lao động thủ công sang lao động máy móc, từ sản xuất công xưởng sang nhà máy. Những đổi mới của thời kỳ này là công nghiệp dệt, động cơ hơi nước và luyện kim, nơi than đá được thay thế bằng than cốc.

Nửa sau thế kỷ XIX - đầu thế kỷ XX được coi là giai đoạn phát triển của cuộc cách mạng công nghệ công nghiệp lần thứ II, khi diễn ra sự biến đổi toàn cầu của nền công nghiệp thế giới, mà đỉnh cao là sự ra đời của các dây chuyền sản xuất và liên tục.

Cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ III bắt đầu vào những năm 1980 và được đặc trưng bởi sự chuyển đổi ở quy mô lớn từ công nghệ tương tự sang kỹ thuật số. Quá trình này tiếp tục cho đến giữa thập kỷ đầu tiên của thế kỷ XXI.

Năm 2011, khái niệm “Công nghiệp 4.0” được trình bày tại Đức [2–5], được coi là cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ IV và bao gồm các khái niệm chung về công nghệ như Internet vạn vật, thực tế ảo và tăng cường, in 3D, in điện tử, trí tuệ nhân tạo, ...

Thực tế cho thấy các công nghệ mới đang phát triển với tốc độ chóng mặt: cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ I phải mất hàng thế kỷ, cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ II kéo dài 100 năm, quá trình chuyển đổi sang cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ III mất 70 năm, nhưng chỉ sau 40 năm đã xuất hiện khái niệm “Công nghiệp 4.0”.

Những phát triển trong lĩnh vực Công nghiệp 5.0 đã bắt đầu từ ngày hôm nay, ví dụ, khái niệm “Xã hội 5.0” đã được công bố ở Nhật Bản [6].

Cũng trong thời gian này, ngành xây dựng đã xuất hiện từ thời cổ đại, cũng trải qua một số giai đoạn tiến hóa và phát triển. Các tòa nhà ban đầu chỉ được xây dựng từ đất sét, sau đó mới bắt đầu sử

dụng đá. Theo thời gian, các thành phố và các quốc gia xuất hiện và cần được bảo vệ, dẫn đến việc xây dựng các bức tường và công trình phòng thủ. Tất cả điều này phục vụ cho sự phát triển của xây dựng và kiến trúc, vật liệu và công nghệ xây dựng mới xuất hiện.

Theo quy luật, các tòa nhà chủ yếu được xây dựng từ vật liệu địa phương. Kể từ thế kỷ XVIII mới bắt đầu xuất hiện các kế hoạch xây dựng và phát triển các thành phố lớn. Tiến bộ tích cực trong ngành xây dựng đã diễn ra vào thế kỷ XX, tuy nhiên, việc thiếu các thiết bị xây dựng hiện đại ở một số quốc gia và việc sử dụng lao động thủ công đã làm tăng đáng kể thời gian xây dựng các công trình xây dựng.

Trong bối cảnh phát triển của khái niệm “Công nghiệp 4.0”, thuật ngữ “Xây dựng 4.0” – (Construction 4.0) đã xuất hiện từ năm 2011, nên để nghiên cứu xác định xu hướng phát triển công nghệ 4.0 có thể tìm các ấn phẩm đã xuất bản theo tiêu chí này kể từ năm 2011. Ngày nay chúng ta đang chứng kiến một kỷ nguyên mới: ứng dụng của các công nghệ mới trong ngành xây dựng.

Trong số các tài liệu có nói đến “Xây dựng 4.0” thì trong tài liệu [1] đã công bố kết quả nghiên cứu cơ sở dữ liệu Scopus - của các nhà khoa học trên thế giới có nói đến các lựa chọn đối tượng nghiên cứu như được nêu trong Bảng 1.

Bảng 1. Dữ liệu thống kê về việc tìm kiếm các ấn phẩm khoa học theo từ khóa [1]

Nguồn cơ sở dữ liệu	Lựa chọn 1		Lựa chọn 2		Lựa chọn 3	
	Cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ IV		Cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ IV và lĩnh vực xây dựng		Công nghiệp 4.0 và Xây dựng	
Scopus	Trong khoảng thời gian 1932–2021*	2011–2020*	Trong khoảng thời gian 2009–2021*	2016–2020**	Trong khoảng thời gian 1964–2021*	2011–2020*
	3.172	2.844	87	77	694	591

*: Số lượng xuất bản cho từ khóa hoặc tổ hợp cụm từ được tìm thấy trong nguồn dữ liệu cho toàn bộ thời gian;

** : Trong giai đoạn 2011-2016 không có ấn phẩm nào với các từ khóa được quy định được tìm thấy.

Theo số liệu trong Bảng 1 cho thấy các từ khóa nói về Cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ IV và lĩnh vực xây dựng, bài báo được xuất bản đầu tiên là năm 2016, tổng số ấn phẩm đã xuất bản là 77. Qua phân tích nội dung các ấn phẩm cho thấy số lượng lớn nhất các ấn phẩm liên quan đến khoa học kỹ thuật (28,7%) và tin học (14%), trong đó đã nhấn mạnh tầm quan trọng của hệ thống thông tin và công nghệ. Số lượng xuất bản theo năm (Bảng 2) cho thấy sự tăng trưởng của các xuất bản ấn phẩm bắt đầu vào năm 2019. Đến tháng 3 năm 2021, đã có thêm 10 bài báo đã được gửi trong cơ sở dữ liệu Scopus cho các từ khóa từ mẫu lựa chọn 2.

Bảng 2. Số lượng ấn phẩm xuất bản theo năm

Năm	2016	2017	2018	2019	2020
Số lượng	3	2	6	26	40

Sự phân bố các ấn phẩm theo quốc gia được thể hiện trong Bảng 3.

Bảng 3. Sự phân bố các ấn phẩm theo quốc gia

Nước	Malaysia	Nam Mỹ	Ý	Hàn Quốc	Anh Quốc	Trung Quốc	Nga	Mỹ	Úc	Ba Lan
Số ấn phẩm	9	8	7	7	7	6	6	5	4	4

Từ số liệu trong Bảng 3 có thể thấy rằng các tác giả đến từ Malaysia đứng đầu về số lượng xuất bản trong khu vực nghiên cứu, vị trí thứ hai thuộc về các tác giả đến từ Nam Mỹ, và vị trí thứ ba xuất bản hàng đầu là của các tác giả đến từ Ý. Phân tích các ấn phẩm cho mẫu lựa chọn 3: Công nghiệp 4.0 và xây dựng. Các bài báo được xuất bản trong giai đoạn 2011-2020 có tổng cộng 591 ấn phẩm.

Qua phân tích sự phân bố các ấn phẩm khoa học theo các nhánh kiến thức cho thấy số lượng lớn nhất là các ấn phẩm liên quan đến kỹ thuật (30,7%) và khoa học máy tính (18,4%). Động lực của những thay đổi về số lượng xuất bản theo năm (Bảng 4) chỉ ra rằng sự tăng trưởng của các xuất bản phẩm đã bắt đầu vào năm 2016.

Bảng 4. Sự phân bố các ấn phẩm xuất bản theo năm

Năm	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Số ấn phẩm	1	3	1	7	13	27	36	96	175	232

Trong Bảng 5 cho thấy sự phân bố các ấn phẩm theo quốc gia. Đức ở vị trí đầu tiên (62 ấn phẩm), Ý ở vị trí thứ hai với 53 ấn phẩm, Trung Quốc ở vị trí thứ ba (52 ấn phẩm).

Bảng 5. Sự phân bố các ấn phẩm xuất bản theo quốc gia

Nước	Đức	Ý	Trung Quốc	Anh Quốc	Malaysia	Nga	Mỹ	Úc	Brazil	Indonesia
Số ấn phẩm	62	53	52	39	32	30	30	28	25	24

Qua việc phân tích các ấn phẩm trong tài liệu [1] đã xác định các công nghệ chính của Công nghiệp 4.0 liên quan đến ngành xây dựng đó là công nghệ mô hình hóa thông tin và in 3D. Một số lượng đáng kể các ấn phẩm được dành cho công nghệ mô hình thông tin, các tác giả cũng đã xuất bản các bài báo về phân tích sự phát triển của công nghệ mô hình thông tin [7, 8], các phương pháp tiếp cận đề xuất để thực hiện 5D BIM, v.v... [9–13].

Tuy nhiên, một trong những lĩnh vực nghiên cứu phát triển năng động nhất trong lĩnh vực khoa học xây dựng hiện đại là sự phát triển của kỹ thuật thi công bằng các công nghệ in 3D (công nghệ đắp dần) [14–16]. Sự phát triển của công nghệ in 3D trong xây dựng được chứng minh bởi một số lợi thế kinh tế và kỹ thuật [17, 18]. Việc thực hiện hiệu quả các nguyên tắc chế tạo từng lớp kết cấu cần phát triển loại vật liệu mới - “mực” cho máy in 3D với một tập hợp các đặc tính đảm bảo cả tính công nghệ cần thiết trong quá trình in và độ tin cậy vận hành thích hợp.

Về bản chất, một đặc điểm công nghệ của công nghệ sản xuất kết cấu bê tông như vậy có thể được gọi là sự kết hợp các nguyên tắc của xây dựng kết cấu nguyên khối không sử dụng ván khuôn, một mặt, bao gồm việc sử dụng các cấp phối có đặc tính chảy nhớt định trước, và mặt khác, trong quá trình hình thành thể tích đặc của hỗn hợp trực tiếp tại địa điểm xây dựng. Tuy nhiên, việc xây dựng các lớp bê tông bằng cách đùn tại công trường sẽ kéo theo sự xuất hiện của một diện tích bề mặt hở của thành phẩm.

Việc thiếu bảo dưỡng bên ngoài trong những điều kiện như vậy tạo ra những điều kiện không thuận lợi cho quá trình thủy hóa của xi măng poóc lăng. Mất nước nhiều do bay hơi dẫn đến thiếu nước để hình thành cấu trúc và sau đó là giảm mật độ bê tông, co ngót, nứt và giảm độ bền. Khả năng lưu giữ nước trong hỗn hợp trong suốt toàn bộ thời kỳ đóng rắn là tính chất quan trọng cần có để “mực” xây dựng và bê tông, có thể đóng rắn trong điều kiện tự nhiên, và ảnh hưởng này có thể được giảm bớt bằng cách sử dụng phụ gia tăng nhanh đóng rắn.

Theo xu hướng “In bê tông 3D” tăng đều đặn hàng năm về số lượng các ấn phẩm khoa học mới đã được hình thành trong thập kỷ qua, điều này cũng góp phần tạo ra và phát triển một số lĩnh vực nghiên cứu liên quan trong lĩnh vực khoa học vật liệu xây dựng: liên quan đến việc kiểm soát các đặc tính lưu biến và đặc tính công nghệ của hỗn hợp xây dựng phân tán, điều khiển động học đóng rắn của vật liệu dựa trên chất kết dính khoáng, gia cố phân tán và các phương pháp khác để tăng đặc tính độ bền kéo khi uốn của vật liệu composite tổng hợp đóng rắn thủy, v.v. Sự quan tâm ngày càng tăng của cộng đồng khoa học thế giới đối với công nghệ in 3D xây dựng có khả năng do một mặt công nghệ này về lâu dài sẽ giải quyết được vấn đề cấp bách là giảm tỷ trọng lao động thủ công nặng nhọc trong xây dựng, mặt khác nó có thể trở thành động lực phát triển cần thiết hiện nay bởi một số lĩnh vực hứa hẹn khác tạo cơ hội cho quá trình chuyển đổi phân khúc xây dựng của nền kinh tế thế giới theo mô hình Công nghiệp 4.0.

Công nghệ và tổ chức xây dựng in 3D được mô tả khá khái quát trong tài liệu [19]. Ngoài ra, công nghệ in 3D xây dựng được coi là một hướng đi đầy hứa hẹn cho việc tự động hóa hoàn toàn sản xuất xây dựng trong các lĩnh vực hoạt động đầy hứa hẹn của con người như trong ý tưởng thuộc địa hóa các hành tinh và vệ tinh khác của Hệ mặt trời, và trong tương lai xa hơn - và ngoài hành tinh. Lấy ví dụ, trong giai đoạn từ 2017 đến 2019 NASA đã tổ chức Cuộc thi Môi trường sống In 3D, cuộc thi này đã chọn ra các công nghệ in 3D xây dựng tự hành hứa hẹn nhất cho các dự án ý tưởng thuộc địa hóa trên sao Hỏa trong tương lai.

Vào năm 2019, Roscosmos Liên Bang Nga cũng đã công bố ý định sử dụng công nghệ in 3D xây dựng trong việc khám phá Mặt trăng. Đồng thời, việc triển khai hiệu quả in 3D được liên kết chặt chẽ với các công nghệ mô hình hóa thông tin. Thí dụ như nếu ngày nay ý tưởng sử dụng BIM để quản lý vòng đời của các đối tượng ở tất cả các giai đoạn của nó thường khó thực hiện trong thực tế do ảnh hưởng của yếu tố con người ở giai đoạn xây dựng, dẫn đến sự xuất hiện của nhiều sai lệch của vật thể thực so với mô hình ban đầu được phát triển ở giai đoạn thiết kế, khi đó việc xây dựng một tòa nhà hoặc cấu trúc bằng công nghệ in 3D xây dựng sẽ loại trừ khả năng có sự mâu thuẫn như vậy, vì lý do chính là máy in có thể để chỉ in những cấu trúc với các đặc điểm hình học của chúng đã được chuyển đến bộ nhớ - trực tiếp từ mô hình thông tin của đối tượng tương lai.

Ở Việt Nam trong những năm gần đây đã có một số nghiên cứu về Lưu biến và co ngót của bê tông sử dụng sợi polypropylene để in bê tông 3D [2]. Kết quả thí nghiệm trong tài liệu [2] cho thấy rằng:

- Giới hạn chảy động học và độ nhớt dẻo của hỗn hợp bê tông để in 3D được khảo sát dựa trên mô hình Bingham. Hàm lượng sợi, tỷ lệ Nước/Chất kết dính và polypropylene ảnh hưởng đáng kể đến độ nhớt dẻo và giới hạn chảy động học.

- Các thử nghiệm co ngót để đo biến dạng co ngót của bê tông ngay sau 3 giờ kể từ khi đúc cho thấy khả năng chống nứt của bê tông được cải thiện khi bổ sung sợi polypropylene, tăng cát/Chất kết dính và tăng Nước/Chất kết dính. Độ co ngót của bê tông in 3D diễn ra rất nhanh trong 24 h đầu tiên sau khi đúc, độ co ngót này lên đến 96% so với giá trị co ngót tối đa lúc nứt bê tông.

Trên cơ sở xem xét cả khả năng chống nứt do co ngót tốt và các đặc tính lưu biến, hộp lưu biến có thể in được đề xuất dưới dạng hộp hình chữ nhật được biểu thị trong đó ứng suất chảy thay đổi từ 250 đến 500 Pa và độ nhớt dẻo khác nhau từ 22 đến 60 Pa. Thử nghiệm in ghê bê tông, có đặc tính lưu biến trong hộp lưu biến có thể in được đề xuất, đã thành công. Tuy nhiên, nghiên cứu này chỉ tập trung vào giới hạn chảy động học và ứng suất dẻo của bê tông.

Trong tài liệu [20] nhóm tác giả trong đó có nghiên cứu sinh từ Việt Nam đã cho rằng sự hoàn thiện của công nghệ in 3D sử dụng hỗn hợp bê tông trên cơ sở xi măng Poocăng phần lớn phụ thuộc vào giải pháp hợp lý cho vấn đề đảm bảo sự đóng rắn bình thường của các lớp bê tông đùn. Vì phạm chế độ đóng rắn đã biết dẫn đến những hậu quả tiêu cực và liên quan đến thiệt hại kinh tế đáng kể. Đề

tài này đã đề xuất sử dụng các dung dịch polyacrylate đã chuẩn bị trước đưa vào hỗn hợp bê tông cho phép kiểm soát quá trình trùng hợp của chúng, trì hoãn chức năng hấp phụ của phụ gia kịp thời để đảm bảo tính lưu biến cần thiết, giảm đáng kể nút cho bê tông in. Phương pháp này thuộc giải pháp nội bảo dưỡng đã áp dụng trong công nghệ bê tông. Lĩnh vực in bê tông 3D cũng đang được nhóm tác giả ở Viện Vật liệu Xây dựng nghiên cứu nhưng đang ở giai đoạn ban đầu chưa công bố trên hệ thống cơ sở dữ liệu Scopus.

Hiện nay, phương pháp mô hình hóa thông tin là cách hiệu quả nhất để ngành xây dựng chuyển đổi sang các công nghệ công nghiệp hiện đại trong khuôn khổ của khái niệm Công nghiệp 4.0. Chuyên gia chính trong khuôn khổ của khái niệm này là một chuyên gia có thể được gọi là “Người xây dựng 4.0”, tức là một chuyên gia với các công nghệ ở cấp độ của cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ IV.

Tài liệu tham khảo

- [1] Ginzburg, A. V., Adamtsevich, L. A., Adamtsevich, A. O. (2021). [Construction industry and the Industry 4.0 concept: a review](#). *Vestnik MGSU (Monthly Journal on Construction and Architecture)*, (7):885–911. (in Russian).
- [2] Tran, M. V., Cu, Y. T., Le, C. V. (2021). [Rheology and shrinkage of concrete using polypropylene fiber for 3D concrete printing](#). *Journal of Building Engineering*, 44:103400.
- [3] Bahrin, M. A. K., Othman, M. F., Azli, N. H. N., Talib, M. F. (2016). [Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic](#). *Science Engineering*, 78(6-13).
- [4] Nowotarski, P., Paslawski, J. (2017). [Industry 4.0 Concept Introduction into Construction SMEs](#). *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, 245:052043.
- [5] Zabidin, N. S., Belayutham, S., Ibrahim, C. K. I. C. (2020). [A bibliometric and scientometric mapping of Industry 4.0 in construction](#). *Journal of Information Technology in Construction*, 25:287–307.
- [6] Polat, L., Erkollar, A. (2020). [Industry 4.0 vs. Society 5.0](#). *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, Springer International Publishing, 333–345.
- [7] Ginzburg, A., Shilov, L., Shilova, L. (2018). [The main trends of computer-aided design systems development](#). *MATEC Web of Conferences*, 251:05001.
- [8] Ginzburg, A., Shilova, L., Adamtsevich, A., Shilov, L. (2016). [Implementation of BIM-technologies in Russian construction industry according to the international experience](#). *Journal of Applied Engineering Science*, 14(4):457–460.
- [9] Shilova, L. A., Sorokina, E. A. (2018). [The Efficiency of Using Building Energy Modeling in the Construction of High-Rise Buildings](#). *Materials Science Forum*, 931:455–460.
- [10] Shilov, L., Shilova, L. (2017). [Information Modelling of Engineering Systems as an Improvement Factor for the Energy Efficiency of Building](#). *MATEC Web of Conferences*, 117:00154.
- [11] Ginzburg, A., Shilov, L., Shilova, L. (2019). [The methodology of storing the information model of building structures at various stages of the life cycle](#). *Journal of Physics: Conference Series*, 1425:012156.
- [12] Konyagin, A., Shilova, L. (2019). [Development of the software application for the building information models in augmented reality mode visualization](#). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 698:066010.
- [13] Pilyay, A., Shilova, L. (2018). [The use of normative basis for the construction cost for introduction of 5D BIM in Russia](#). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 365:062009.
- [14] Zhang, Y., Zhang, Y., She, W., Yang, L., Liu, G., Yang, Y. (2019). [Rheological and harden properties of the high-thixotropy 3D printing concrete](#). *Construction and Building Materials*, 201:278–285. (in Russian).
- [15] Vatin, N., Chumadova, L., Goncharov, I., Zykova, V., Karpenya, A., Kim, A., Finashenkov, E. (2017). [3D printing in construction](#). *Construction of Unique Buildings and Structures*, 1(52):27–46.
- [16] Jayathilakage, R., Rajeev, P., Sanjayan, J. G. (2020). [Yield stress criteria to assess the buildability of 3D concrete printing](#). *Construction and Building Materials*, 240:117989.

- [17] Mechtcherine, V., Nerella, V. N., Will, F., Näther, M., Otto, J., Krause, M. (2019). [Large-scale digital concrete construction – CONPrint3D concept for on-site, monolithic 3D-printing](#). *Automation in Construction*, 107:102933.
- [18] Nerella, V. N., Mechtcherine, V. (2019). [Studying the Printability of Fresh Concrete for Formwork-Free Concrete Onsite 3D Printing Technology \(CONPrint3D\)](#). *3D Concrete Printing Technology*, Elsevier, 333–347.
- [19] Pustovgar, A. P., Adamtsevich, A. O., Volkov, A. A. (2018). Technology and organization of additive construction. *Industrial and Civil Construction*, 9:12–20. (in Russian).
- [20] Korolev, E. V., Qui, D. T., Inozemtcev, A. S. (2020). [Method of internal care of cement hydration in 3D printing formulations](#). *Vestnik MGSU (Monthly Journal on Construction and Architecture)*, 15(6): 834–846. (in Russian).