



## Những rào cản trong việc ứng dụng công nghệ bản sao kỹ thuật số tại các bến container: Nghiên cứu tại cảng Hải Phòng

### Barriers to digital twin application at container terminals: A case study in Hai Phong port

Bùi Thị Thùy Linh<sup>1,\*</sup>, Nguyễn Văn Hùng<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Khoa Kinh tế, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

**Từ khóa:** TÓM TẮT

Bản sao kỹ thuật số Bến container Cảng thông minh Cảng Hải Phòng Khung TOE

Bên cạnh các công nghệ số như IoT, Blockchain và AI đang được ứng dụng mạnh mẽ trong việc vận hành và khai thác cảng, công nghệ bản sao kỹ thuật số (DT), dù không mới, nhưng gần đây đang được quan tâm nghiên cứu ứng dụng tại cảng container để tối ưu hoạt động khai thác cảng thông qua việc hỗ trợ vận hành bằng cách kiểm soát và kết nối dữ liệu thời gian thực và các công cụ phân tích, dự báo cũng như thống kê. Nghiên cứu này đã hệ thống hóa kiến thức về công nghệ DT, xác định các yếu tố ảnh hưởng đến khả năng áp dụng tại các bến container theo khung TOE (Công nghệ – Tổ chức – Môi trường) kết hợp với phỏng vấn bán cấu trúc với các chuyên gia là những cá nhân đang nắm các vị trí chủ chốt tại các doanh nghiệp cảng biển trên địa bàn Hải Phòng, từ đó nhận diện các rào cản và cơ hội mà các bến container được nghiên cứu cần nắm bắt khi tiến hành triển khai DT tại cơ sở của mình. Những thách thức chủ yếu gồm hạ tầng công nghệ chưa hoàn thiện, năng lực xử lý và tích hợp dữ liệu còn hạn chế, thiếu hụt nhân lực số, và sự thiếu vắng chiến lược chuyển đổi số rõ ràng.

**Keywords:** ABSTRACT

Digital twin Container terminal Smart port Hai Phong port TOE framework

Beside digital technologies such as IoT, Blockchain, and AI that are being widely applied in port operations and management, Digital Twin (DT) technology, although not entirely new, has recently attracted increasing attention for its potential application in container terminals to optimize port operations. This is achieved through operational support by controlling and connecting real-time data with analytical, forecasting, and statistical tools. This study systematizes knowledge on DT technology and identifies factors influencing its adoption in container terminals using the TOE (Technology–Organization–Environment) framework, combined with semi-structured interviews with experts who hold key positions in seaport enterprises in Hai Phong. From this approach, the study highlights both the barriers and opportunities that container terminals under examination need to address when implementing DT in their operations. The main challenges include incomplete technological infrastructure, limited capacity for data processing and integration, a shortage of digital-skilled human resources, and the absence of a clear digital transformation strategy.

\* Bùi Thị Thùy Linh. Khoa Kinh tế, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam  
Email: [linhbtt@vimaru.edu.vn](mailto:linhbtt@vimaru.edu.vn)

<https://www.doi.org/10.55228/JTST140604>

Ngày nhận bài: 14/07/2025; Ngày nộp bài sửa: 26/09/2025 ; Ngày chấp nhận đăng: 20/10/2025

Ngày xuất bản trực tuyến: 15/11/2025

pISSN: 1859-4263; eISSN: 3030-4261

## 1. Giới thiệu chung

Trong bối cảnh ngành cảng biển toàn cầu đang đẩy mạnh quá trình chuyển đổi số hướng tới mục tiêu phát triển bền vững và tối ưu hóa vận hành, công nghệ bản sao kỹ thuật số (Digital Twin - DT) nổi lên như một giải pháp tiên tiến, cho phép mô phỏng, giám sát và tối ưu hóa các quá trình vận hành cảng theo thời gian thực. Dù đã được ứng dụng rộng rãi trong các lĩnh vực như sản xuất, hàng không, năng lượng và y tế, việc triển khai công nghệ bản sao kỹ thuật số tại các bến container – đặc biệt là tại Việt Nam – vẫn còn khá mới mẻ và chưa được đánh giá toàn diện. Trong khi đó, sự cần thiết phải nâng cao năng lực quản lý, khai thác và tính cạnh tranh của các bến cảng được xem là vô cùng cấp bách, nhất là tại các khu vực trọng điểm như hệ thống cảng biển khu vực Hải Phòng một trong 2 cảng biển đặc biệt quan trọng của hệ thống cảng biển Việt Nam theo Quyết định số 318/QĐ-BXD về việc công bố Danh mục bến cảng thuộc các cảng biển Việt Nam.

Nghiên cứu này tập trung tìm hiểu các rào cản thách thức và cơ hội có được trong việc ứng dụng công nghệ bản sao kỹ thuật số tại các bến cảng container khu vực cảng Hải Phòng. Để thực hiện nghiên cứu, nhóm tác giả tiến hành lấy dữ liệu thông qua việc khảo sát các cá nhân làm tại các doanh nghiệp đang kinh doanh khai thác các bến cảng container thuộc khu vực cảng Hải Phòng theo bộ chỉ số đánh giá các yếu tố bên trong (công nghệ và tổ chức) và bên ngoài (môi trường thể chế, khách hàng, đối tác), dữ liệu về mức độ sẵn sàng triển khai công nghệ bản sao kỹ thuật số đã được thu thập. Mặc dù phương pháp nghiên cứu không mới, vấn đề nghiên cứu được đề cập tới – công nghệ bản sao kỹ thuật số và việc áp dụng công nghệ này là vấn đề đương thời, đang được nhiều doanh nghiệp khai thác cảng tại Việt Nam quan tâm và nghiên cứu trong bối cảnh xu hướng chuyển đổi số đang diễn ra mạnh mẽ trong ngành hàng hải, đặc biệt là khai thác cảng biển.

## 2. Tổng quan về nghiên cứu

### 2.1. Tổng quan về công nghệ bản sao kỹ thuật số

Quá trình số hóa hoạt động cảng biển khuyến khích các cảng biển điều chỉnh và triển khai công nghệ số trong hoạt động tổ chức khai thác và cung cấp dịch vụ đi kèm với việc không ngừng cải thiện chất lượng dịch vụ để đảm bảo duy trì hiệu quả, lợi nhuận

và khả năng cạnh tranh của cảng [1]. Quá trình số hóa trong mọi hoạt động kinh tế được xem như bùng nổ trước sự xuất hiện rộng rãi và phát triển mạnh mẽ của các công nghệ số như điện toán đám mây, Internet vạn vật (IoT), phân tích dữ liệu lớn, thực tế ảo (VR), thực tế tăng cường (AR), trí tuệ nhân tạo (AI) với học máy, học sâu và mạng nơ-ron, v.v. [2]. Số hóa khuyến khích nghiên cứu liên ngành bằng cách giúp các nhà nghiên cứu từ các lĩnh vực khác nhau dễ dàng truy cập và tích hợp các tập dữ liệu và nguồn kiến thức đa dạng [3]. Về bản chất, số hóa bắt đầu bằng việc số hóa dữ liệu và tài sản, bao gồm việc chuyển đổi các tài liệu, hình ảnh và hồ sơ vật lý thành các định dạng có thể đọc được bằng máy thông qua các công nghệ như quét và nhận dạng ký tự quang học. Sau khi số hóa, dữ liệu được lưu trữ và quản lý trong các kho lưu trữ kỹ thuật số [4].

Công nghệ bản sao kỹ thuật số không còn mới và đã được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực như công nghiệp, ô tô, hàng không, chăm sóc sức khỏe, hàng hải, nông nghiệp, điện, tàu thủy, xây dựng, thành phố thông minh, vũ trụ, rác thải, vận tải... [5]. Trong tài liệu Digital Twin cho các ứng dụng công nghệ năm 2020, Bản sao kỹ thuật số được định nghĩa là sự mô phỏng kỹ thuật số của một tài sản, quy trình hoặc hệ thống, thể hiện được các thuộc tính và hành vi của thực thể đó phù hợp để giao tiếp, lưu trữ, diễn giải hoặc xử lý trong một bối cảnh nhất định [6]. Năm 2003, Grieves lần đầu tiên giới thiệu mô hình bản sao kỹ thuật số gồm ba phần: sản phẩm vật lý, sản phẩm ảo và các kết nối của chúng [7]. Tao Fei (2019) đã đề xuất rằng trong ngành công nghiệp, mô hình số nên bao gồm năm phần: vật lý, ảo, kết nối, dữ liệu và dịch vụ, và giới thiệu công nghệ mô hình số cốt lõi [8]. Nghiên cứu của Zheng, Yang và Cheng (2019) đề xuất một khung ứng dụng của công nghệ bản sao kỹ thuật số cho quản lý vòng đời sản phẩm, bao gồm ba lớp chính: không gian vật lý với công nghệ cảm biến toàn phần, lớp xử lý thông tin với các mô-đun lưu trữ, xử lý và ánh xạ dữ liệu, và không gian ảo với mô hình hóa tham số đầy đủ [9].

Công nghệ bản sao kỹ thuật số (Digital Twin – DT) khác biệt rõ rệt so với các công nghệ khai thác cảng hiện có như TOS, EDI hay E-port ở mức độ tích hợp và khả năng dự báo. Các hệ thống truyền thống chủ yếu phục vụ quản lý tác nghiệp riêng lẻ, dựa trên dữ liệu lịch sử hoặc giao dịch điện tử, trong khi DT tạo ra

một mô hình số động phản ánh trạng thái cảng theo thời gian thực, cho phép mô phỏng kịch bản và tối ưu hóa toàn bộ hệ thống [9]. Hơn nữa, DT tích hợp IoT, AI và dữ liệu lớn để dự báo sự cố, nâng cao hiệu quả bảo trì và quản lý luồng container, vượt xa chức năng giám sát tĩnh của các công nghệ hiện có [10]. Quan trọng hơn, DT không chỉ cải thiện vận hành ngắn hạn mà còn được coi là nền tảng chiến lược để xây dựng cảng thông minh và phát triển bền vững trong dài hạn [11], [12].

Những thách thức trong việc ứng dụng công nghệ bản sao kỹ thuật số cũng đã được tìm hiểu. Fuller 2020 [13] đã chỉ ra thách thức đối với DT gồm có cơ sở hạ tầng công nghệ thông tin, dữ liệu cần có, tính riêng tư và độ an toàn, độ tin cậy, kỳ vọng với DT, mô hình chuẩn hóa, và mô hình miền. Trong khi đó, nghiên cứu của Biotin 2022 [14] đã chỉ ra năm thách thức thường gặp trong việc ứng dụng DT gồm: (1) các vấn đề về dữ liệu như độ tin cậy, độ an toàn, khả năng thu thập và quản lý; (2) thiếu tiêu chuẩn, khung ứng dụng và các quy định về triển khai bản sao kỹ thuật số; (3) chi phí ứng dụng cao do phải cài đặt nhiều thiết bị cảm ứng và các nguồn lực về máy tính; (4) mức độ đáp ứng của AI và dữ liệu lớn đối với các yêu cầu phân tích dữ liệu dài hạn trên quy mô lớn; (5) các rào cản về mạng lưới thông tin liên lạc.

## 2.2. Các ứng dụng công nghệ bản sao kỹ thuật số trong lĩnh vực cảng biển

Các cảng đang nỗ lực tìm kiếm các giải pháp công nghệ tiên tiến để ứng phó với sự gia tăng lưu lượng vận tải hàng hóa bằng nhiều phương thức vận tải qua cảng, đồng thời cải thiện tác động đến môi trường [15]. Nghiên cứu của Haiyuan và cộng sự [16] cho rằng các DT cho cảng nên tập trung vào số hóa cảng và nhu cầu quản lý tích hợp, dựa trên nền tảng BIM (Building Information Modeling) là nền tảng giúp tạo lập và quản lý mô hình thông tin kỹ thuật số của hệ thống cơ sở vật chất cảng biển trong suốt giai đoạn hoạt động cảng biển và được xem như là chìa khóa quan trọng cho quá trình chuyển đổi số. Về bản chất, có thể xem BIM là một hồ sơ thiết kế gồm những tập tin hay dữ liệu kỹ thuật số, chứa các mối liên hệ logic về mặt không gian, kích thước, số lượng, vật liệu của từng cấu kiện, bộ phận trong công trình. Những thông tin này được trao đổi và kết nối trực tuyến với nhau thông qua các phần mềm, để hỗ trợ cho việc quản lý và ra những quyết định liên quan tới công trình. Hệ

thống BIM khi áp dụng sẽ tiến hành số hóa và tạo ra thông tin dạng dữ liệu liên quan đến việc bố trí neo đậu, kế hoạch cầu bến cho tàu, số lượng thiết bị tiền phương như cầu bờ, số lượng cầu tàu tại bến cảng, thông số liên quan và hệ thống thiết bị xếp dỡ nâng hạ khác khu vực hậu phương cảng cũng như hệ thống cổng cảng. Các công cụ như Anylogic, Simio, Arena và Transmodeler có thể được sử dụng để trực quan hóa bối cảnh và phối hợp quản lý, bối cảnh đầy đủ của quá trình phát triển cảng và tích hợp phù hợp với công tác quy hoạch, thiết kế, xây dựng hiện hữu và các kế hoạch mở rộng công suất khai thác trong tương lai.

Khi được đưa vào ứng dụng trong lĩnh vực cảng biển, công nghệ bản sao kỹ thuật số mô phỏng cơ sở hạ tầng cảng và các trang thiết bị xếp dỡ, cho phép việc giám sát, theo dõi quá trình vận hành được cập nhật liên tục theo thời gian thực. Do vậy, ứng dụng bản sao kỹ thuật số khi ứng dụng vào cảng biển đang được nghiên cứu hướng tới hai mục tiêu tối ưu hóa vận hành và phát triển bền vững và an toàn cảng biển. Một nghiên cứu khám phá [17] về việc ứng dụng công nghệ bản sao kỹ thuật số trong các cảng biển và cơ sở hạ tầng cảng, thông qua phân tích tài liệu và các nghiên cứu điển hình đã chỉ ra rằng công nghệ này có tiềm năng lớn trong việc nâng cao hiệu quả hoạt động và ra quyết định dựa trên dữ liệu. Trong bản sao kỹ thuật số của các bến container, Wang và cộng sự đã thiết lập một khung hệ thống để quản lý cảng thông minh dựa trên DT, bao gồm năm lớp: lớp vật lý, lớp dữ liệu, lớp mô hình, lớp dịch vụ, và lớp ứng dụng [18]. Yang và các cộng sự đã phân tích một cách toàn diện các thách thức và yêu cầu cho việc vận hành các cảng container tự động (ACTs) từ góc độ quản lý thiết bị và vận hành, và tóm tắt những lợi ích của công nghệ bản sao kỹ thuật [19]. Gao và các cộng sự đã đề xuất một phương pháp dựa trên mô hình bản sao kỹ thuật số để tối ưu hóa mức tiêu thụ năng lượng của các hệ thống thiết bị cơ giới và xếp dỡ tại cảng biển (ASCs) trong việc xử lý container và xây dựng lên bằng công nghệ số hóa, mô phỏng một bãi container ảo được thiết kế phản ánh chính xác các thông số kỹ thuật liên quan và tương đồng với bãi container vật lý trong hệ thống bản sao kỹ thuật số ACT để giúp người sử dụng có thể thao tác và quản lý trực tiếp một cách trực quan nhất [20]. Zhang và các cộng sự đã đề xuất một phương pháp dựa trên DT cho việc phân bổ hoạt động của phương tiện xếp dỡ tuyến tiền phương là các cầu bờ nhằm đảm bảo sử dụng hiệu quả và tiết

kiệm năng lượng. Công tác phân bổ dưới sự hỗ trợ hệ thống công nghệ phần mềm sẽ giúp đưa ra gợi ý và kích bản khai thác phù hợp về lựa chọn số lượng cầu bờ tham gia xếp dỡ tàu trên về cơ sở các phân tích và mô hình thuật toán ngầm về dự báo mức tiêu thụ năng lượng [20].

Một số nghiên cứu tập trung vào khả năng phục hồi của cảng biển. Zhou và cộng sự (2021) đề xuất một hệ thống hỗ trợ ra quyết định (DSS) tích hợp công nghệ bản sao kỹ thuật số để đánh giá và nâng cao khả năng phục hồi của cảng biển trước các sự kiện gián đoạn, dựa trên thiết kế, hoạt động và các phương án phục hồi sau sự cố [10]. Nghiên cứu của Ding và cộng sự đã phát triển một hệ thống hỗ trợ quyết định (DSS) dựa trên công nghệ digital twin và big data để cung cấp các kế hoạch cầu bến và phương án khai thác tối nhằm đảm bảo thời gian ra vào của tàu đúng với yêu cầu. Việc ứng dụng hệ thống big data nhúng vào hệ thống phần mềm tại cảng nhằm chạy mô hình dự báo các viễn cảnh khai thác sẽ giúp cho việc lập kế hoạch và giám sát theo thời gian thực trở nên hiệu quả và chính xác hơn [21].

Việc xem đầu tư vào các công nghệ chủ chốt mang tính biểu tượng gắn chặt với Cuộc Cách mạng Công nghiệp 4.0 trong ngành vận tải và logistics Việt Nam là xu hướng tất yếu, trong đó Big Data được đánh giá có tiềm năng đầu tư cao nhất (75,96%), theo sau là IoT, AI và Blockchain [22]. Các yếu tố ảnh hưởng tới việc áp dụng công nghệ số tại cảng biển cũng đã được nghiên cứu. Phạm T.Y. (2022) đã xác định các tiêu chí ảnh hưởng quyết định áp dụng công nghệ số hướng tới cảng biển thông minh bao gồm chi phí, độ tin cậy và an toàn, tính hiệu quả và kết quả, mức độ dễ dàng áp dụng và ảnh hưởng từ các yếu tố bên ngoài [23]. Phạm T. Y. (2025) đã đề xuất bộ tiêu chí để xác định các yếu tố quyết định sự thành công của việc thực hiện chuyển đổi số gồm 14 tiêu chí phụ được nhóm thành bốn nhóm tiêu chí: Sự hợp tác của các bên liên quan, năng lực của cảng, sự chấp nhận công nghệ mới và các yếu tố từ môi trường bên ngoài [24]. Cả hai nghiên cứu trên đều sử dụng phương pháp Delphi. Trong nghiên cứu về áp dụng công nghệ blockchain trong lĩnh vực vận tải biển, Lê S.T. (2025) đã chỉ ra bốn áp lực tác động đến việc triển khai các ứng dụng công nghệ blockchain: Áp lực pháp lý, áp lực cạnh tranh, áp lực khách hàng, áp lực từ phía các bên liên quan [25]. Nghiên cứu của Lê và cộng sự (2024) sử

dụng kết hợp mô hình chấp nhận công nghệ TAM và mô hình phân tích thứ bậc AHP để xác định các yếu tố tác động đến việc áp dụng hệ thống thông tin cảng biển tại các bến cảng container. Kết quả của nghiên cứu cho thấy các yếu tố mức độ cải thiện chất lượng đầu ra, mức độ phù hợp với nhu cầu cá nhân, và mức độ dễ sử dụng có tác động nhiều hơn so với yếu tố xu thế xã hội [26].

### 2.3. Sự cần thiết của công nghệ bản sao kỹ thuật số trong lĩnh vực cảng biển

Công nghệ bản sao kỹ thuật số (DT) đang nổi lên như một công cụ cốt lõi trong tiến trình chuyển đổi số của ngành cảng biển, đặc biệt trong bối cảnh áp lực cạnh tranh, yêu cầu giảm phát thải và sự gián đoạn chuỗi cung ứng ngày càng gia tăng. DT cho phép xây dựng một mô hình số động, tích hợp dữ liệu thời gian thực từ hệ thống cảm biến IoT, các thiết bị xếp dỡ, tàu, và hệ thống quản lý để mô phỏng và theo dõi trạng thái hoạt động thực tế của cảng. Các cảng tiên tiến như Rotterdam (Hà Lan), Hamburg (Đức), Qingdao (Trung Quốc) và Singapore đã triển khai DT để giám sát thiết bị, tối ưu hóa hoạt động cầu bến, nâng cao độ chính xác trong điều độ, và dự báo hiệu quả các tình huống bất thường [17], [18].

Việc ứng dụng DT mang lại nhiều lợi ích thiết thực: tăng năng suất khai thác, rút ngắn thời gian xử lý container, giảm thiểu chi phí bảo trì thiết bị thông qua bảo trì dự đoán [19] và tối ưu hóa mức tiêu thụ năng lượng nhằm hướng đến cảng trung hòa carbon [27]. Chẳng hạn, tại cảng Hamburg, hệ thống TwinSim sử dụng DT để phân tích mô phỏng hoạt động cầu bến và xe vận hành trong khu vực bãi, qua đó giúp tối ưu hóa tài nguyên và giảm thời gian luân chuyển hàng hóa [14]. Tại cảng Rotterdam, DT kết hợp với AI giúp tăng khả năng dự báo lịch trình tàu lên 79% và giảm tới 40% thời gian phản ứng với sự cố [28]. Một mô hình bản sao kỹ thuật số cho cảng Pusan đã được phát triển nhằm giảm phát thải carbon thông qua việc tối ưu hóa lịch trình tương tác giữa cảng và tàu biển. Kết quả cho thấy mô hình này có thể giảm hơn 75% lượng khí thải carbon so với hoạt động thực tế, đồng thời cải thiện độ chính xác trong dự đoán thời gian đến của tàu và lượng phát thải trong hành trình [27]. Hơn nữa, công nghệ bản sao kỹ thuật số giúp nâng cao tính bền vững của cảng biển thông qua giám sát và ra quyết định theo thời gian thực, tối ưu hóa sử

dụng tài nguyên, tăng cường an toàn và hợp tác, đồng thời hỗ trợ phát triển hệ sinh thái cảng biển [29].

Trong bối cảnh ngành cảng biển Việt Nam đang đứng trước cơ hội chuyển đổi mạnh mẽ, việc nghiên cứu và triển khai công nghệ DT không chỉ là một xu thế, mà còn là đòi hỏi tất yếu để tăng cường năng lực cạnh tranh, thúc đẩy phát triển bền vững và nâng cao khả năng thích ứng với biến động toàn cầu. DT không chỉ là công nghệ hỗ trợ vận hành, mà còn là công cụ chiến lược giúp hoạch định đầu tư, mở rộng công suất và điều phối chuỗi cung ứng một cách thông minh, hiệu quả và minh bạch [2] [11].

Tuy nhiên, hiện chưa có nghiên cứu về công nghệ bản sao kỹ thuật số trong lĩnh vực cảng biển ở Việt Nam. Công nghệ này còn mới mẻ, có thể trở thành chủ đề cho các nghiên cứu chuyên sâu khác trong nước.

#### 2.4. Khung lý thuyết TOE

Khung lý thuyết Công nghệ - Tổ chức - Môi trường (TOE), do Tornatzky và Fleischer (1990) thiết kế, đã được sử dụng rộng rãi để nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng tới việc chấp nhận và triển khai công nghệ mới tại doanh nghiệp. Tên của khung lý thuyết này thể hiện ba phạm vi đánh giá các yếu tố để áp dụng thành công các cải tiến công nghệ trong doanh nghiệp, bao gồm: công nghệ, tổ chức và bối cảnh môi trường của doanh nghiệp. Trong đó, công nghệ là cơ sở hạ tầng công nghệ bên trong và bên ngoài doanh nghiệp. Các yếu tố về tổ chức thể hiện các mối quan hệ và cơ chế tồn tại trong doanh nghiệp như nhân lực, văn hóa doanh nghiệp... liên quan đến việc áp dụng công nghệ. Các đặc điểm của thị trường, như đối thủ cạnh tranh, chính sách, môi trường kinh doanh... được thể hiện trong các yếu tố về môi trường [30].

Nhiều mô hình lý thuyết, khung lý thuyết khác cũng được sử dụng để nghiên cứu việc áp dụng công nghệ thành công trong các doanh nghiệp như Lý thuyết hành động hợp lý (TRA), Mô hình chấp nhận công nghệ (TAM), Lý thuyết thống nhất về chấp nhận và sử dụng công nghệ (UTAUT), Lý thuyết hành vi có kế hoạch (TPB), Sự lan tỏa đổi mới (DOI) và khung TOE.

Công nghệ bản sao kỹ thuật số với đặc điểm tích hợp nhiều nền tảng kỹ thuật như IoT, dữ liệu thời gian thực và mô phỏng số, đòi hỏi không chỉ năng lực hạ tầng công nghệ sẵn có, mà còn cần sự sẵn sàng về

yếu tố nội bộ trong tổ chức và đánh giá được các tác động từ môi trường bên ngoài như chính sách, thị trường và đối tác. Khung TOE bao gồm tất cả các yếu tố quyết định cho việc áp dụng công nghệ thành công ở cả môi trường bên trong và bên ngoài doanh nghiệp [30], thể hiện tính phù hợp khi sử dụng trong việc đánh giá khả năng ứng dụng công nghệ DT. Ngoài ra, khung TOE có thể hỗ trợ kiểm tra các yếu tố tiềm ẩn có thể ảnh hưởng đến quá trình áp dụng đổi mới công nghệ trong các doanh nghiệp, từ đó giúp ngăn ngừa các rủi ro tiềm ẩn, và đánh giá các yếu tố quyết định trên có vai trò hạn chế hay ảnh hưởng đến việc áp dụng đổi mới công nghệ cụ thể trong doanh nghiệp [31]. Nhiều nghiên cứu trước đó cũng đã sử dụng khung TOE hiệu quả khi đánh giá mức độ sẵn sàng chuyển đổi số và ứng dụng công nghệ tiên tiến trong lĩnh vực logistics và cảng biển [32],[33],[34],[35]. Do đó, trong nghiên cứu này, khung TOE được lựa chọn nhằm cung cấp một cấu trúc phân tích rõ ràng, hỗ trợ xây dựng bộ tiêu chí định lượng và định tính phù hợp với đặc thù ngành, qua đó làm cơ sở đánh giá khả năng triển khai công nghệ DT tại các bến cảng container một cách khoa học và thực tiễn.

Dựa trên tổng hợp các tài liệu và những công trình nghiên cứu trước đó, các yếu tố ảnh hưởng tới việc áp dụng một công nghệ mới trong lĩnh vực cảng biển và logistics đã được tổng hợp (Phụ lục 1). Từ đó, nhóm tác giả kết hợp với khung lý thuyết TOE để xác định và phân loại các yếu tố ảnh hưởng tới khả năng áp dụng công nghệ bản sao kỹ thuật số tại các bến container như được thể hiện ở bảng 1 dưới đây.

**Bảng 1.** Các yếu tố ảnh hưởng tới việc áp dụng công nghệ bản sao kỹ thuật số tại các bến cảng container theo khung TOE.

TT	Yếu tố nghiên cứu
<b>A. Yếu tố công nghệ</b>	
1	Hạ tầng công nghệ thông tin (CNTT) tương đối hiện đại (IoT, cảm biến, điện toán đám mây, mạng 5G, và các thiết bị số hóa khác)
2	Khả năng kết nối và chia sẻ dữ liệu (TOS, ERP, ...) giữa các hệ thống CNTT của bến container và giữa bến container với các mắt xích khác trong chuỗi cung ứng
3	Khả năng thu thập dữ liệu thời gian thực từ hoạt động khai thác (cơ sở hạ tầng cảng, trang thiết bị xếp dỡ, container, phương tiện...) tại bến container

- 6 Nhận thức của doanh nghiệp về công nghệ bản sao kỹ thuật số cũng như các hiệu quả mà công nghệ này mang lại trong hoạt động khai thác bến container.

#### **B. Yếu tố tổ chức**

- 1 Cam kết triển khai và đầu tư cho chuyển đổi số và công nghệ bản sao kỹ thuật số.
- 2 Kế hoạch chiến lược về đầu tư và phát triển công nghệ trong hoạt động quản lý và khai thác bến container (bao gồm ngân sách, con người, lộ trình thực hiện, mức độ ưu tiên).
- 3 Hoạt động đào tạo, nâng cao kiến thức về công nghệ và dữ liệu cho nhân sự tại bến container.

#### **C. Yếu tố môi trường**

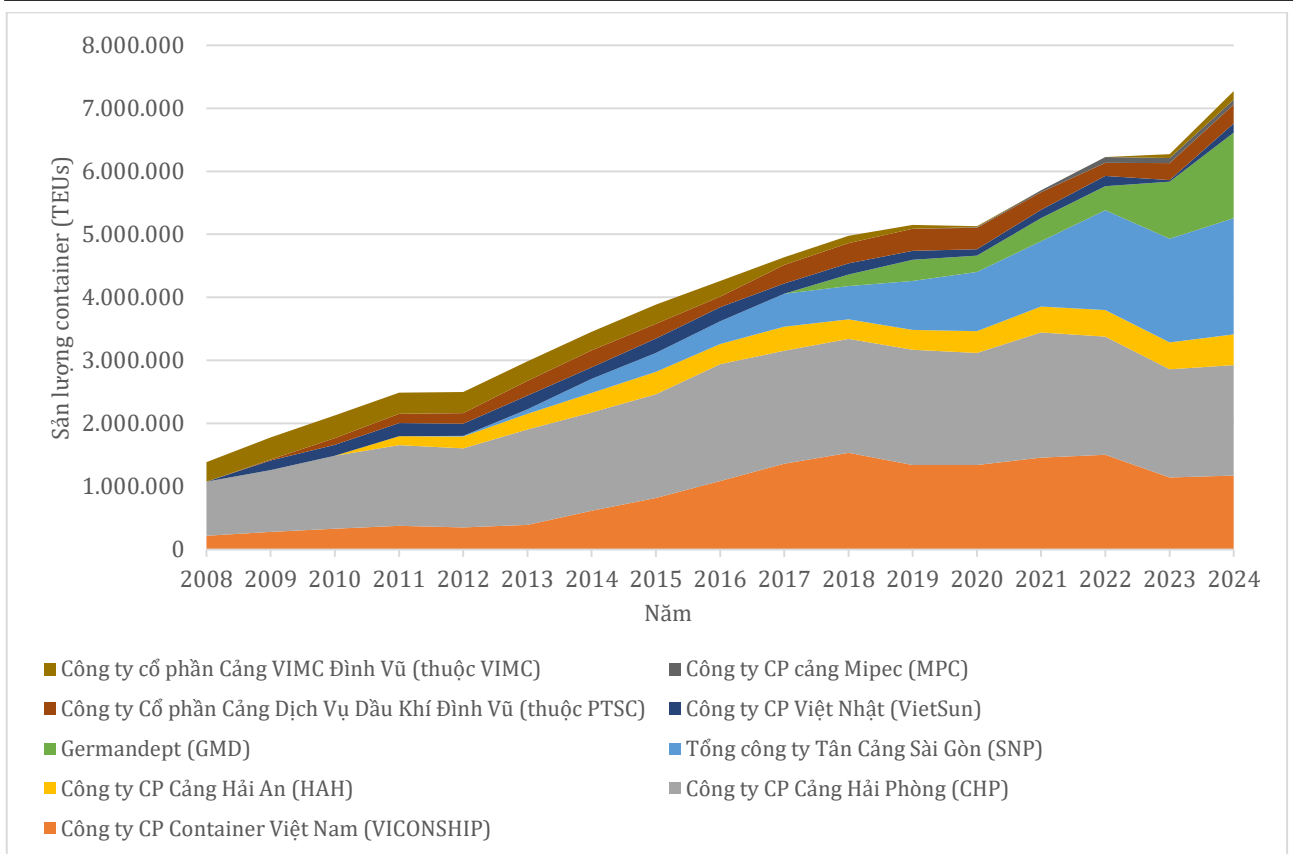
- 1 Chính sách hoặc chương trình hỗ trợ chuyển đổi số hoặc tư vấn, hỗ trợ về kỹ thuật từ các bên như chính phủ hoặc tổ chức chuyên ngành.
  - 2 Sự phối hợp từ các bên (cơ quan quản lý Nhà nước, hãng tàu, hải quan, forwarders) trong việc áp dụng chuyển đổi số.
  - 3 Áp lực phải đổi mới công nghệ để theo kịp các bến container lớn trong khu vực, tăng cường khả năng cạnh tranh và tối ưu hoạt động của bến container.
  - 4 Áp lực từ phía các khách hàng và đối tác về số hóa và truy xuất dữ liệu.
  - 5 Trình độ của các đơn vị trong và ngoài nước (viện nghiên cứu, công ty công nghệ) trong việc phát triển và triển khai các hệ thống CNTT tiên tiến.
- 

### **3. Thu thập và xử lý dữ liệu**

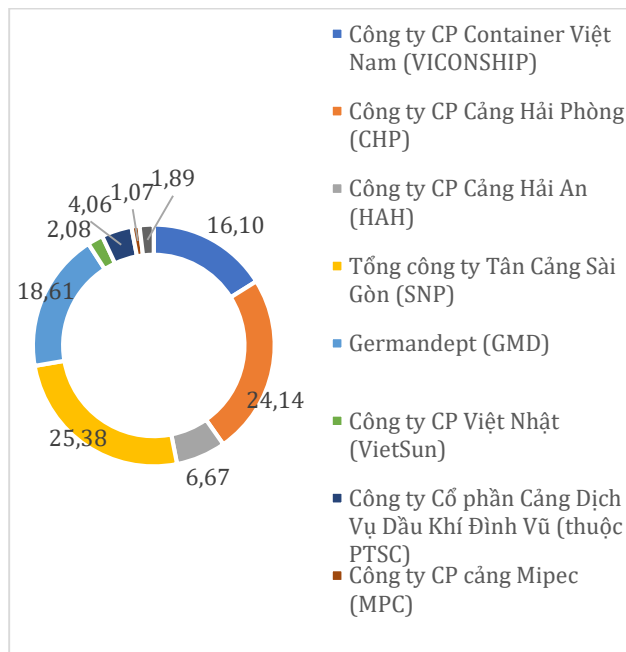
#### **3.1. Tình hình hoạt động của các bến container tại cảng Hải Phòng**

Cảng Hải Phòng là cảng thương mại lớn thứ hai cả nước và là cảng hàng đầu miền Bắc, đóng vai trò là cầu nối chiến lược nằm trong chuỗi cung ứng đi từ Việt Nam sang các nước trong khu vực và trên thế giới. Bộ Xây dựng đã phê duyệt Quy hoạch chi tiết phát triển vùng đất, vùng nước cảng biển Hải Phòng thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050 [36], theo đó đến năm 2030, cảng Hải Phòng sẽ đáp ứng cho lượng hàng hóa thông qua từ 175,4 – 215,5 triệu tấn, bao gồm hàng container từ 12,15 triệu – 14,92 triệu TEUs, chưa tính hàng container trung chuyển quốc tế. Số lượng bến cảng sẽ tăng lên từ 61 – 73 bến cảng, gồm từ 98 – 111 cầu cảng với tổng chiều dài từ 20.196 – 23.446m bằng việc mở rộng các khu bến Lạch Huyện, Nam Đồ Sơn, Văn Úc.

Theo Quyết định số 318/QĐ-BXD ngày 26/3/2025 của Bộ Xây dựng, tại Hải Phòng hiện có 51 bến cảng, trong đó, gần 20 bến container thương mại, còn lại là các bến chuyên dụng hoặc bến xếp dỡ hàng tổng hợp [37]. Theo số liệu thống kê về sản lượng container thông qua các bến cảng tại khu vực cảng Hải Phòng giai đoạn 2008–2024 do Cảng vụ tổng hợp, xu hướng dịch chuyển sản lượng container giữa cụm cảng Đình Vũ và Lạch Huyện thể hiện rõ nét. Cụ thể, sự tăng trưởng vượt trội tại các bến hiện đại như TC-HICT, Tân Cảng 128 và Tân Cảng 189 kể từ năm 2018. Ngược lại, các bến cảng truyền thống như Đoạn Xá và Transvina hiện đã ngừng hoạt động. Điều này phản ánh sự thay đổi trong định hướng khai thác cảng, ưu tiên các cảng nước sâu, hiện đại, phù hợp với chiến lược phát triển cảng biển bền vững và tiếp nhận tàu lớn.



**Hình 1.** Sản lượng container thông qua tại khu vực cảng Hải Phòng, giai đoạn 2008-2024.



**Hình 2.** Sản lượng container thông qua các bến cảng tại cảng Hải Phòng năm 2024 theo doanh nghiệp quản lý và khai thác.

Theo số liệu sản lượng container thông qua năm 2024, bốn đơn vị lớn gồm Tổng công ty Tân Cảng Sài Gòn (25,38%), Công ty CP cảng Hải Phòng (24,14%), Tập đoàn Germandept (18,61%), và Công ty CP Container Việt Nam (16,10%) chiếm tới 84% tổng

sản lượng container thông qua cảng Hải Phòng. Bốn doanh nghiệp này hiện đang khai thác 10 bến container trong khu vực, với các trang thiết bị chuyên dụng và được đầu tư công nghệ tiên tiến. Một số bến container như Đoạn Xá, Transvina hiện không còn hoạt động, thay vào đó một số bến cảng mới đi vào hoạt động đã bắt đầu ghi nhận sản lượng tích cực gần đây như Mipec, VIMC Đình Vũ.

Dữ liệu quý I năm 2025 cho thấy hoạt động khai thác cảng tại Hải Phòng được thực hiện bởi nhiều đơn vị với quy mô và hiệu quả khác nhau (Bảng 2). Các doanh nghiệp lớn như Germandept, Tổng công ty Tân Cảng Sài Gòn và Công ty CP Cảng Hải Phòng chiếm tỷ trọng sản lượng container cao nhất, phản ánh năng lực khai thác vượt trội tại các bến nước sâu hiện đại. Trong khi đó, các bến container quy mô nhỏ hơn do VietSun, MIPEC hay PTSC khai thác hiện duy trì sản lượng khiêm tốn, cho thấy sự phân tầng rõ rệt trong khai thác và năng lực cạnh tranh giữa các đơn vị trong khu vực cảng Hải Phòng. Đặc biệt trong năm 2025, ở khu vực cảng nước sâu Lạch Huyện có thêm bến 3-4 và bến 4-5 đi vào hoạt động, thu hút các tàu mẹ cập bến, tuy chưa tổng hợp được dữ liệu thu thập nhưng cũng được đầu tư rất đồng bộ.

**Bảng 2.** Các doanh nghiệp khai thác bến container tại khu vực cảng Hải Phòng.

Đơn vị quản lý và khai thác	Bến container	Đơn vị: TEUs	
		Quý I 2025	
	GREEN PORT	38.643	
Công ty CP Container Việt Nam (VICONSHIP)	VIP GREEN	97.233	
	NAM HAI DINH VU	52.968	
	CHUA VE	44.099	
Công ty CP Cảng Hải Phòng (CHP)	TAN VU	144.855	
	DINH VU	72.023	
Công ty CP Cảng Hải An (HAH)	HAI AN	78.593	
	TANCANG 189	21.552	
Tổng công ty Tân Cảng Sài Gòn (SNP)	TANCANG 128	5.643	
	TC-HICT	209.273	
Tập đoàn Germandept (GMD)	NAM DINH VU	229.686	
Công ty CP Việt Nhật (VietSun)	NAM HAI	25.917	
Công ty Cổ phần Cảng Dịch Vụ Dầu Khí Đình Vũ (thuộc PTSC)	PTSC DINH VU	38.233	
Công ty CP cảng Mipecc (MPC)	MIPEC	11.764	
Công ty cổ phần Cảng VIMC Đình Vũ (thuộc VIMC)	VIMC DINH VU	19.907	

### 3.2. Thu thập dữ liệu

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả tập trung vào các doanh nghiệp khai thác các bến cảng container thương mại tại khu vực cảng Hải Phòng. Theo đó, nhóm nghiên cứu đã tiến hành phỏng vấn 16 chuyên gia là quản lý hoặc nhân sự giàu kinh nghiệm và có vị trí công việc liên quan trực tiếp tới việc ứng dụng công nghệ tại các đơn vị khai thác bến cảng container tại Hải Phòng để tìm hiểu về các rào cản tới việc áp dụng công nghệ bản sao kỹ thuật số tại bến container. Các câu hỏi phỏng vấn được thể hiện tại Phụ lục 2, theo đó người được phỏng vấn sẽ cung cấp các thông tin theo các câu hỏi định hướng, cùng với các câu hỏi mở sẽ được linh hoạt đặt ra trong quá trình phỏng vấn.

Đặc điểm về đối tượng tham gia phỏng vấn được trình bày chi tiết trong Bảng 3 dưới đây.

**Bảng 3.** Đối tượng khảo sát.

	Biển	Phân loại	Trọng số	Tỷ lệ (%)
1	Trình độ học vấn	Cử nhân	5	31,3
		Sau đại học	11	68,7
2	Giới tính	Nam	13	81,3
		Nữ	3	18,7
		Dưới 5 năm	0	0
3	Kinh nghiệm làm việc	6-10 năm	3	18,8
		15-11 năm	6	37,5
		16-20 năm	7	43,7
		Trên 20 năm	0	0

Từ nội dung các câu trả lời, nhóm nghiên cứu sẽ nhận diện theo từ khóa để ghi nhận và đánh giá những tiêu chí nào được quan tâm và mức độ quan trọng của mỗi tiêu chí. Đây là cơ sở để phân tích đánh giá và nhận diện những rào cản đối với việc áp dụng công nghệ mới như bản sao kỹ thuật số tại bến container.

### 3.3. Xử lý dữ liệu

Trong quá trình xử lý dữ liệu thu thập từ các phỏng vấn bán cấu trúc với các nhà quản lý và chuyên gia có nhiều năm kinh nghiệm trong lĩnh vực khai thác cảng biển, dữ liệu được chuyển từ ghi âm sang bản chép lời để đảm bảo tính toàn vẹn của thông tin. Tiếp đó, nội dung phỏng vấn được phân loại và mã hóa theo các chủ đề chính gắn với bộ câu hỏi nghiên cứu, bao gồm: (1) Nhận thức và hiểu biết về công nghệ bản sao kỹ thuật số, (2) Thực trạng công nghệ và năng lực nội tại, (3) Tác động và giá trị tiềm năng, (4) Yếu tố môi trường và chính sách, và (5) Các rào cản và khuyến nghị. Quá trình phân tích được thực hiện theo phương pháp phân tích chủ đề, trong đó các phát biểu được mã hóa thành các đơn vị ý nghĩa và sắp xếp vào các tiểu chủ đề tương ứng. Sau đó, các mẫu thông tin lặp lại, điểm tương đồng và khác biệt trong quan điểm chuyên gia được tổng hợp nhằm rút ra những phát hiện chính liên quan đến rào cản và điều kiện cần thiết để áp dụng công nghệ bản sao kỹ thuật số tại các bến cảng container ở Hải Phòng. Cách tiếp cận này giúp bảo đảm dữ liệu được xử lý có hệ thống, khách quan và phản ánh sâu sắc thực tiễn ngành cảng.

## 4. Phân tích và thảo luận

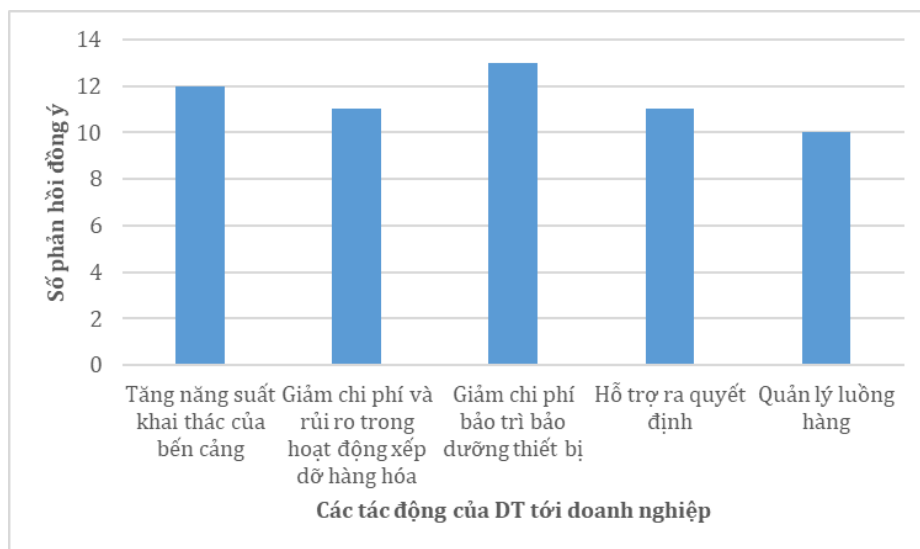
### 4.1. Phân tích

Kết quả khảo sát cho thấy việc triển khai công nghệ bản sao kỹ thuật số tại cảng Hải Phòng gặp

nhiều rào cản đa chiều, liên quan đến nhận thức, yếu tố tổ chức, môi trường đầu tư và điều kiện tiên quyết về công nghệ.

Thứ nhất, về nhận thức, mặc dù có 75% người trả lời cho biết đã có nghiên cứu hoặc hiểu biết sâu về công nghệ DT, vẫn còn 25% người chỉ “biết sơ qua, không hiểu rõ”. Sự chênh lệch này phản ánh tình trạng nhận thức chưa đồng đều trong cộng đồng chuyên gia và nhà quản lý. Theo Neugebauer et al. (2024), nhận thức không đầy đủ có thể dẫn đến sự mơ hồ trong hoạch định chiến lược và làm chậm quá trình ra quyết định đầu tư [11].

Thứ hai, về tác động của công nghệ bản sao kỹ thuật số đến hoạt động của doanh nghiệp khai thác bến cảng container tại Hải Phòng, đa số người tham gia khảo sát công nhận tiềm năng của DT trong giảm chi phí bảo trì, tăng năng suất khai thác, hỗ trợ ra quyết định và quản lý luồng hàng (Hình 3). Tuy nhiên, rào cản xuất hiện khi các lợi ích này chưa được lượng hóa đầy đủ, dẫn đến sự dè dặt trong đầu tư. Nghiên cứu của Homayouni et al. (2023) cũng nhấn mạnh rằng việc chứng minh giá trị kinh tế cụ thể là điều kiện then chốt để thúc đẩy ứng dụng DT tại cảng biển [12].

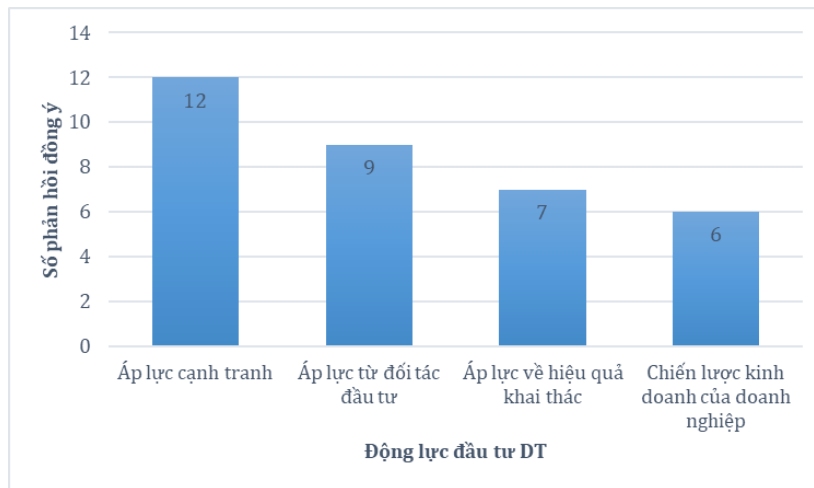


Hình 3. Tác động của công nghệ bản sao kỹ thuật số tới doanh nghiệp.

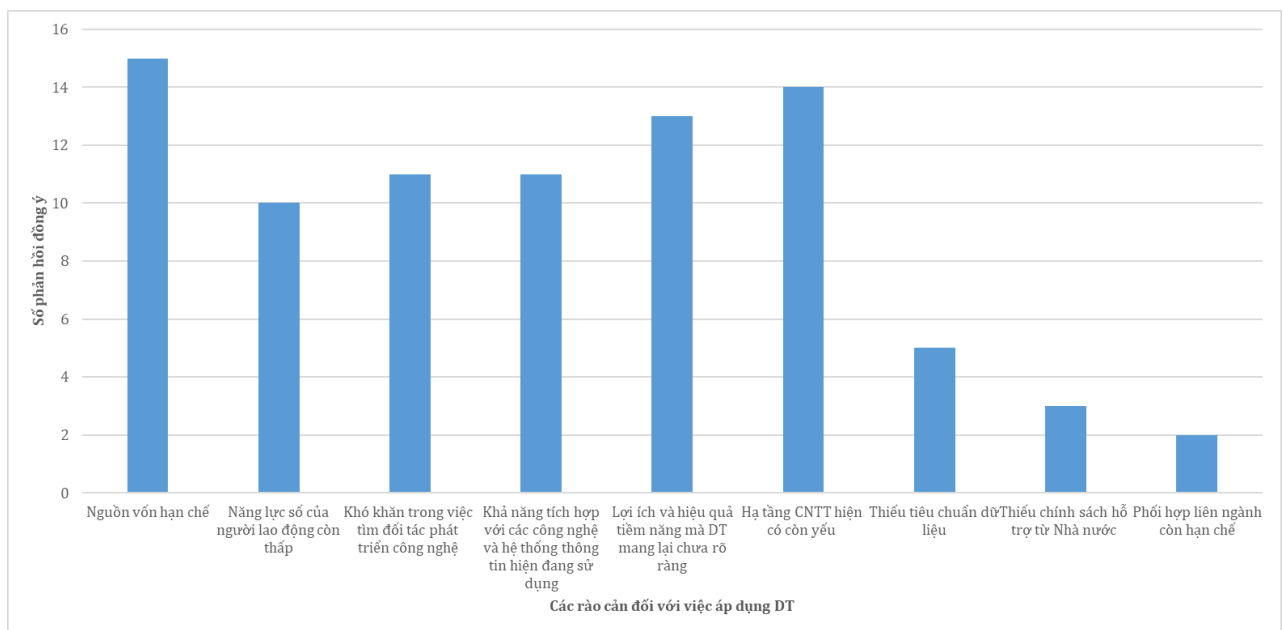
Thứ ba, liên quan đến nhân sự và môi trường làm việc, 93,75% câu trả lời có đề cập tới “kỹ năng mới của người lao động” là thách thức lớn nhất. Trong khi đó, các lợi ích như tăng năng suất lao động (81.25%) và giảm nhân sự (75%) lại cho thấy nguy cơ thay đổi mạnh mẽ cơ cấu nhân lực. Điều này phù hợp với các nghiên cứu quốc tế chỉ ra rằng sự thiếu hụt kỹ năng số và năng lực quản lý dữ liệu là một trong những rào cản phổ biến nhất khi triển khai DT trong ngành logistics và cảng biển [10].

Thứ tư, về động lực đầu tư, yếu tố áp lực cạnh tranh và áp lực từ đối tác được xem là quan trọng, nhưng chỉ 37,5% câu trả lời nhắc đến “chiến lược

kinh doanh của doanh nghiệp” (Hình 4). Điều này phản ánh sự thiếu vắng định hướng chiến lược rõ ràng, vốn là yếu tố quyết định để triển khai công nghệ mới trong dài hạn. Đây cũng là điểm khác biệt rõ nét trong chiến lược kinh doanh giữa các bến cảng theo vị trí địa lý. Các bến có vị trí ngoài khu vực cảng nước sâu Lạch Huyện được định hướng phát triển và tiếp đón các tàu mẹ cỡ lớn 18.000 TEUs (~200.000 DWT) với mớn nước -16m, và các doanh nghiệp khai thác cảng được thành lập theo hình thức liên doanh giữa doanh nghiệp trong nước và hãng tàu quốc tế có chiến lược rõ nét về việc áp dụng và các bến cảng ở trong khu vực Đình Vũ.



Hình 4. Động lực đầu tư và áp dụng công nghệ bản sao kỹ thuật số.



Hình 5. Các rào cản đối với việc áp dụng và triển khai công nghệ bản sao kỹ thuật số tại các bến container khu vực cảng Hải Phòng.

Cuối cùng, các rào cản đối với việc áp dụng và triển khai công nghệ bản sao kỹ thuật số tại cảng biển bao gồm nguồn vốn và hạ tầng CNTT hiện có được xem là điều kiện then chốt để triển khai thành công DT (Hình 5). Ngoài ra, các yếu tố khác như lợi ích tiềm năng mà DT mang lại, khả năng tích hợp với hệ thống CNTT hiện có và đối tác công nghệ cũng được nhấn mạnh. Điều này cho thấy triển khai DT đòi hỏi đầu tư tài chính lớn, đồng thời cần một hệ sinh thái công nghệ và đối tác hỗ trợ. Bên cạnh đó, các yếu tố môi trường như thiếu tiêu chuẩn dữ liệu, chính sách hỗ trợ chưa rõ ràng và sự phối hợp liên ngành còn hạn chế cũng góp phần cản trở tiến trình đổi mới.

#### 4.2. Thảo luận

Các rào cản chính đối với việc ứng dụng công nghệ bản sao kỹ thuật số tại cảng Hải Phòng ở trên được phân tích cụ thể theo nhóm tiêu chí TOE như sau:

##### 4.2.1. Về yếu tố Công nghệ

Các chuyên gia đều nhất trí rằng năng lực hạ tầng CNTT và khả năng tích hợp dữ liệu là một rào cản lớn. Điểm thuận lợi là hiện nay các doanh nghiệp khai thác cảng đều nắm bắt được các xu hướng phát triển và ứng dụng công nghệ trong hoạt động khai thác container trong và ngoài nước. Hầu hết các bến cảng đã triển khai các hệ thống TOS, E-port hay EDI, thể hiện nỗ lực số hóa mạnh mẽ trong lĩnh vực khai thác cảng container (Phụ lục 3). Các bến cảng đều đã số hóa hoạt động khai thác bằng việc sử dụng hệ thống phần mềm khai thác cảng TOS. Các phần mềm này đã

số được phát triển bởi đơn vị CNTT trong nước như PLC, Fbsoft; ngoài ra cũng có bến cảng đặt mua phần mềm từ nước ngoài như HHIT sử dụng hệ thống NAVIS N4 TOS của Hàn Quốc. Bên cạnh đó, e-port là một hệ thống không thể thiếu tại các cảng container hiện nay. Khách hàng có thể đặt lịch dịch vụ cũng như tra cứu thông tin hàng hóa và thanh toán trực tuyến rất thuận lợi qua hệ thống e-port. Đa số các cảng đã xây dựng hệ thống e-port riêng, chỉ có bến Hải An và bến Nam Hải hiện đang sử dụng nền tảng e-port do bên thứ ba cung cấp.

Một số hạn chế về hạ tầng công nghệ thông tin có thể kể đến như: (1) Mức độ đầu tư về hạ tầng CNTT có sự khác biệt lớn giữa các bến cảng nước sâu ngoài Lạch Huyện và các bến container nằm ở khu vực Đình Vũ trở vào trong. Do hiện nay, các tàu mẹ đều lựa chọn các bến cảng ngoài Lạch Huyện để làm hàng, mức độ cạnh tranh ở cụm cảng này ngày một tăng cao khi các bến 3-4 và 5-6 đi vào khai thác, do đó các bến TC-HICT hay HHIT đầu tư nhiều công nghệ tiên tiến đồng bộ cho nhiều khu vực trong cảng như khu vực cổng cảng, khu vực điều hành sản xuất, khu vực dịch vụ cho khách hàng... Ngược lại, các bến container có vị trí sâu hơn lại tập trung phát triển hệ thống TOS và e-port để giữ vững hiệu quả hoạt động và tối ưu hóa chi phí (2) Mạng 5G cũng là yếu tố quan trọng để dữ liệu được truyền tải và cập nhật thời gian thực một cách kịp thời và chính xác. Vấn đề mất kết nối mạng tại các khu vực khai thác ngoài cầu tàu hay bãi cảng cũng là một trở ngại cần được cải thiện. (3) Việc kết nối và chia sẻ dữ liệu giữa các hệ thống vẫn chưa đồng bộ chủ yếu giữa cảng với khách hàng. Mỗi bến cảng lại sử dụng một hệ thống riêng do doanh nghiệp chủ động đầu tư theo nhu cầu quản lý và khai thác. Tương tự, khách hàng của các cảng biển là hãng tàu khi chuyển dữ liệu tới cảng sẽ sử dụng format riêng, nên cảng sẽ cần phải chuyển đổi dữ liệu đó về định dạng phù hợp với hệ thống khai thác cảng hiện sử dụng. (4) Nhiều công nghệ tiên tiến khác cần được triển khai để có thể xây dựng và vận hành bản sao kỹ thuật số toàn diện tại bến container như triển khai các cảm biến IoT (Internet of Things) tại các điểm quan trọng trong cảng như cổng vào, khu vực bốc dỡ hàng, các thiết bị vận chuyển (cẩu, xe nâng, tàu thuyền); xây dựng một kho dữ liệu lớn (Big Data) có khả năng tích hợp thông tin từ nhiều nguồn khác nhau, như dữ liệu về hạ tầng bến cảng, dữ liệu từ các hệ thống quản lý bến container, cảm biến IoT, và các nguồn dữ liệu bên

ngoài như dữ liệu về lịch trình tàu và dữ liệu về container và hàng hóa từ các hãng tàu, đối tác vận tải; ứng dụng các công nghệ AI và mô phỏng số để hỗ trợ các nhà quản lý cảng phân tích các xu hướng vận hành và đưa ra dự đoán cho tương lai. Tuy nhiên, hiện nay các đơn vị chưa đầu tư bởi nhiều yếu tố như kinh phí, trình độ nhân lực hiện có cũng như việc tìm đối tác đủ năng lực để triển khai.

#### 4.2.2. Về yếu tố Tổ chức

Các doanh nghiệp đều nhận thức được tầm quan trọng của hoạt động đào tạo nguồn nhân lực số. Để áp dụng hiệu quả công nghệ bản sao kỹ thuật số, đội ngũ nhân viên có kiến thức vững về công nghệ số, kỹ năng vận hành hệ thống DT, khả năng phân tích dữ liệu, sử dụng công cụ mô phỏng và AI để đưa ra quyết định. Việc tổ chức các chương trình đào tạo thường xuyên cho nhân viên hiện tại và những người mới tuyển dụng về kỹ năng sử dụng các công nghệ mới hay kỹ năng phân tích dữ liệu là rất cần thiết. Một số đơn vị như Tân Cảng hay CHP đã chủ động trong công tác tổ chức đào tạo nội bộ, thậm chí cử nhân sự các cấp đi đào tạo tại nước ngoài. Tuy nhiên, nội dung đào tạo vẫn đang tập trung vào các chủ đề quen thuộc như nghiệp vụ chuyên sâu, chuyên môn quản lý, năng lực ngoại ngữ.

Các chuyên gia thể hiện chung quan điểm cho rằng việc áp dụng công nghệ bản sao kỹ thuật số không phải là một dự án riêng biệt mà phải được tích hợp vào chiến lược phát triển dài hạn của cảng. Cảng cần xây dựng một chiến lược chuyển đổi số tổng thể xác định rõ mục tiêu, nguồn lực và lộ trình thực hiện, trong đó DT là một phần quan trọng. Tại Hải Phòng, các bến container ở khu vực Lạch Huyện rất chú trọng vào ứng dụng công nghệ và coi đó là yếu tố quyết định trong cạnh tranh nhưng tại khu vực Đình Vũ việc tối ưu hóa chi phí và cạnh tranh về giá được ưu tiên hơn.

#### 4.2.3. Về yếu tố Môi trường

Trong khi các cảng lớn như Singapore hay Hamburg đã được tiếp cận các chương trình hỗ trợ kỹ thuật và quy hoạch quốc gia cho cảng thông minh thì hiện ở Việt Nam, sự hỗ trợ từ chính sách nhà nước còn chưa rõ nét. Các doanh nghiệp khai thác bến container tự chủ động trong việc áp dụng công nghệ số tùy theo khả năng và nhu cầu sử dụng mà thiếu định hướng phát triển chung. Cụ thể, các bến cảng

container mới ở cụm cảng Lạch Huyện chủ động thu hút nguồn vốn ngoại và sự hợp tác từ các đối tác quốc tế thông qua mô hình liên doanh. Cần có chính sách hỗ trợ của Chính phủ về các biện pháp khuyến khích tài chính, hỗ trợ đầu tư hạ tầng, ưu đãi thuế cho các dự án chuyển đổi số tại cảng biển.

Vấn đề tiêu chuẩn dữ liệu thống nhất và cơ chế phối hợp liên ngành là rào cản nổi bật. Hiện có nhiều tổ chức đã nghiên cứu và xây dựng các tiêu chuẩn hóa về dữ liệu trong lĩnh vực vận tải logistics như mô hình dữ liệu UN/CEFACT Smart Container cung cấp một chuẩn toàn cầu về cấu trúc và thành phần của “container thông minh” gồm thành phần dữ liệu, mã hóa và API cần thiết để đồng bộ thông tin container qua các hệ thống khác nhau hay DCSA (Digital Container Shipping Association) cũng đưa ra các hạ tầng kết nối IoT tiêu chuẩn hóa, bao gồm yêu cầu về phần cứng, firmware và mạng cho các thiết bị IoT trên container. Cảng Rotterdam là cảng đầu tiên áp dụng DCSA Track & Trace Standard trong hệ thống Cộng đồng Cảng Portbase, nâng cao khả năng theo dõi tình trạng container từ cảng đến điểm đích. Chuẩn này hiện được áp dụng bởi các hãng tàu lớn (MSC, Maersk, CMA CGM, Hapag-Lloyd...) và hỗ trợ hơn 180 triệu sự kiện theo dõi mỗi tháng, chiếm khoảng 75% lưu lượng vận chuyển container toàn cầu. Các đơn vị khai thác bến container đã nghiên cứu sử dụng hệ thống tiêu chuẩn dữ liệu được nhiều bên sử dụng như trên, đồng thời khuyến khích các đối tác và khách hàng khác, ví dụ như các đơn vị vận chuyển trong khu vực và nội địa cùng sử dụng để tạo thuận lợi cho việc trao đổi dữ liệu.

Tóm lại, các rào cản đối với việc áp dụng công nghệ bản sao kỹ thuật số tại các bến container ở cảng Hải Phòng được xác định bao gồm hạn chế về hạ tầng công nghệ, khả năng tích hợp và xử lý dữ liệu, thiếu hụt nhân lực chuyên môn về công nghệ số, cũng như sự thiếu vắng của một chiến lược chuyển đổi số tổng thể tại cấp doanh nghiệp. Để khắc phục, các doanh nghiệp khai thác bến container tại khu vực cảng Hải Phòng cần thực hiện đồng bộ giải pháp, bao gồm: (1) xác định rõ chiến lược kinh doanh và phát triển của doanh nghiệp dựa trên lợi thế từ vị trí địa lý và năng lực công nghệ hiện có; (2) lập kế hoạch đào tạo và phát triển kỹ năng số cho nhân sự nhân sự; (3) đầu tư hạ tầng CNTT và chuẩn hóa dữ liệu, áp dụng các chuẩn dữ liệu phổ biến hiện nay; và (4) thúc đẩy các

mô hình hợp tác với các đối tác trong và ngoài nước nhằm giảm thiểu rủi ro và tối ưu hóa lợi ích khi áp dụng công nghệ DT. Thực tế, các cảng lớn như Singapore và Hamburg đã triển khai DT thành công nhờ sự kết hợp giữa vốn đầu tư mạnh, hạ tầng số hiện đại và hệ sinh thái hợp tác công-tư. Điều này cũng phù hợp với thực tế là bến 3-4 Lạch Huyện liên doanh giữa Công ty Cổ phần Cảng Hải Phòng và Terminal Investment Limited (TIL), huy động được nguồn vốn ngoại và có hạ tầng công nghệ đầu tư toàn diện, tạo điều kiện thuận lợi để áp dụng công nghệ DT so với các bến container khác.

## 5. Kết luận

Công nghệ bản sao kỹ thuật số và việc áp dụng trong hoạt động khai thác cảng là một chủ đề mới, cần được nghiên cứu cụ thể hơn tại thị trường Việt Nam. Nghiên cứu này nhằm đã khám phá các rào cản ảnh hưởng đến việc áp dụng công nghệ bản sao kỹ thuật số trong các bến cảng container tại Hải Phòng thông qua việc xác định các yếu tố quyết định theo khung (TOE) Công nghệ, Tổ chức và Môi trường đã chọn. Kết quả nghiên cứu cho thấy việc ứng dụng công nghệ bản sao kỹ thuật số tại các bến container ở khu vực cảng Hải Phòng đang đối mặt với nhiều rào cản đa chiều, làm nổi bật tính cấp thiết của việc đầu tư nâng cao năng lực công nghệ, đào tạo nhân sự, chiến lược phát triển hạ tầng công nghệ thông tin, đồng thời cần có mô hình hợp tác và huy động vốn hiệu quả.

Nghiên cứu đã cung cấp cơ sở thực tiễn cho các chiến lược phát triển cảng thông minh và chuyển đổi số ngành cảng biển tại Việt Nam trong giai đoạn tới tuy nhiên vẫn còn một số hạn chế như các phát hiện của nghiên cứu được đưa ra dựa trên nhận thức và kinh nghiệm của người tham gia phỏng vấn, do đó có thể chịu ảnh hưởng bởi quan điểm và ý kiến chủ quan của họ; nghiên cứu này chỉ giới hạn trong phạm vi địa lý tại cảng Hải Phòng, một cảng lớn có bối cảnh hoạt động riêng tại Việt Nam, do đó kết quả nghiên cứu không thể khái quát hóa cho các kết luận vượt ra ngoài phạm vi của cảng Hải Phòng.

**Phụ lục 1: Tổng hợp các yếu tố đánh giá khả năng áp dụng công nghệ mới trong lĩnh vực cảng biển và logistics**

STT	Tiêu chí đánh giá	Mô tả	Nguồn
1	Hạ tầng công nghệ và kỹ thuật	Năng lực hiện có về IoT, cảm biến, mạng truyền dữ liệu (5G), điện toán đám mây, AI...	Almeida (2023); Klar et al. (2023); Botín-Sanabria et al. (2022)
2	Tính tương thích và tích hợp hệ thống	Khả năng kết nối giữa các hệ thống cảng, logistics, và các nền tảng điều hành khác	Botín-Sanabria et al. (2022); Tao et al. (2019); Fuller et al. (2020)
3	Văn hóa tổ chức và nguồn nhân lực	Trình độ CNTT, đào tạo nhân sự, mức độ chấp nhận thay đổi công nghệ trong tổ chức	Almeida (2023); Baker (2012); Phạm Thị Yến & Nguyễn Thị Hương Giang (2022)
4	Chi phí đầu tư và lợi ích kỳ vọng	Vốn đầu tư ban đầu, ROI, thời gian thu hồi vốn, chi phí vận hành	Almeida (2023); Grieves (2014); Neugebauer et al. (2024)
5	Chính sách và khung pháp lý hỗ trợ	Mức độ hỗ trợ từ nhà nước, quy định bảo mật, quyền truy cập và chia sẻ dữ liệu	Wang et al. (2021); Verhoef et al. (2021); Zhou et al. (2021)
6	Tương tác thời gian thực (real-time)	Độ trễ truyền dữ liệu, khả năng hiển thị trực quan thời gian thực	Yang et al. (2023); Zhang et al. (2023); Eom et al. (2023)
7	Điều phối chuỗi cung ứng và tương tác đa bên	Khả năng chia sẻ dữ liệu giữa cảng, hãng tàu, doanh nghiệp logistics, và hải quan	Zhou et al. (2021); Wang et al. (2021); Klar et al. (2023)
8	Mô phỏng, dự báo và hỗ trợ ra quyết định	Năng lực phân tích dữ liệu lớn, mô phỏng What-if, học máy, ra quyết định thông minh	Klar et al. (2023); Zhou et al. (2022); Ding et al. (2023); Mao et al. (2023)
9	Mức độ trưởng thành số (Digital Maturity)	Trạng thái hiện tại trong tiến trình chuyển đổi số – từ sơ khai đến tự động hóa toàn diện	Sameer Mittal et al. (2018); Klar et al. (2023); Almeida (2023)
10	Hiệu quả vận hành	Khả năng nâng cao năng suất, giảm chi phí, giảm phát thải	Homayouni et al. (2023); Eom et al.

STT	Tiêu chí đánh giá	Mô tả	Nguồn
	và tính bền vững	CO <sub>2</sub> , hướng tới cảng xanh	(2023); Agatić & Kolanović (2020)

**Phụ lục 2: Cấu trúc bảng hỏi trong phỏng vấn bán cấu trúc về việc áp dụng công nghệ bản sao kỹ thuật số**

**Phần A: Giới thiệu và thông tin chuyên gia**

- Họ tên (có thể ẩn danh):
- Chức vụ:
- Đơn vị công tác:
- Kinh nghiệm trong lĩnh vực cảng/logistics (số năm):
- Kinh nghiệm với công nghệ số hoặc DT (nếu có):

**Phần B: Nội dung chính**

(1) Nhận thức và hiểu biết về công nghệ bản sao kỹ thuật số

- Ông/Bà có biết đến công nghệ bản sao kỹ thuật số không? Nếu có, vui lòng mô tả hiểu biết của ông/bà.
- Theo ông/bà, công nghệ này có tiềm năng ứng dụng ra sao trong lĩnh vực khai thác cảng container?

(2) Thực trạng công nghệ và năng lực nội tại của doanh nghiệp cảng

- Theo ông/bà, các doanh nghiệp khai thác cảng container hiện nay có những điều kiện gì thuận lợi để triển khai công nghệ bản sao kỹ thuật số?
- Có những yếu tố kỹ thuật hoặc tổ chức nào đang là rào cản?

(3) Tác động và giá trị của công nghệ bản sao kỹ thuật số

- Ông/Bà đánh giá như thế nào về hiệu quả tiềm năng của công nghệ bản sao kỹ thuật số đối với vận hành, bảo trì thiết bị, quản lý luồng hàng tại cảng?
- Việc áp dụng công nghệ bản sao kỹ thuật số có tác động gì đến môi trường làm việc, năng lực nhân sự hay quy trình?

(4) Yếu tố môi trường và chính sách

- Các chính sách hoặc yếu tố bên ngoài (ví dụ: quy định, đối tác công nghệ, áp lực cạnh tranh) ảnh hưởng thế nào đến quyết định ứng dụng công nghệ bản sao kỹ thuật số?

- (5) Các rào cản và khuyến nghị
- Theo ông/bà, các rào cản đối với việc áp dụng công nghệ bản sao kỹ thuật số tại bến container là gì?
  - Có khuyến nghị nào cho doanh nghiệp cảng muốn ứng dụng công nghệ này?

**Phụ lục 3: Các công nghệ và hệ thống thông tin đang được sử dụng tại các bến container khu vực cảng Hải Phòng**

Đơn vị quản lý và khai thác	Bến container	Công nghệ
Công ty CP Container Việt Nam (VICONSHIP)	Green Port	Hệ thống khai thác cảng TOS Dịch vụ cảng điện tử e-port Hệ thống EDI trao đổi dữ liệu thời gian thực, CODECO, COARI Hệ thống wifi/radio VMC (virtual machine computer)
	Vip Green	Hệ thống khai thác cảng TOS Dịch vụ cảng điện tử e-port Hệ thống EDI trao đổi dữ liệu thời gian thực, CODECO, COARI Hệ thống wifi/radio VMC (virtual machine computer) e-Warehouse e-trucking
	Nam Hai Dinh Vu	Dịch vụ cảng điện tử e-port
Công ty CP Cảng Hải Phòng (CHP)	Chua Ve	TOS tích hợp với DGPS CNWS-Container Work shop Hệ thống EDI trao đổi dữ liệu Dịch vụ cảng điện tử e-port Bay checker
	Tan Vu	TOS tích hợp với DGPS Smart Gate EDI Dịch vụ cảng điện tử e-Port Reefer checker Bay checker CNWS-Container Work shop
	Dinh Vu	TOS tích hợp với DGPS EDI Dịch vụ cảng điện tử e-Port Ứng dụng e-Port Mobile CNWS-Container Work shop
Công ty CP Cảng Hải An (HAH)	Hai An	Dịch vụ cảng điện tử e-port (Thuộc hệ sinh thái công nghệ Vietnam Smarthub Logistics)
Tổng công ty Tân Cảng Sài Gòn (SNP)	Tancang 189	Dịch vụ cảng điện tử e-port plus/smart gate e-EIR
	Tancang 128	Hệ thống khai thác cảng TOS Mạng kết nối không dây nội bộ Dịch vụ cảng điện tử e-port
	TC-HICT	Hệ thống khai thác cảng TOS Dịch vụ cảng điện tử e-port tích hợp EDI, COARI Gate-In/Out system, wifi, handheld, VMC
Tập đoàn Germandept (GMD)	Nam Dinh Vu	Dịch vụ cảng thông minh Smartport Smart gate
	Nam Hai	Dịch vụ cảng điện tử e-port (Thuộc hệ sinh thái công nghệ Vietnam Smarthub Logistics)
Công ty Cổ phần Cảng Dịch Vụ Dầu Khí Đình Vũ (thuộc PTSC)	PTSC Dinh Vu	Phần mềm khai thác cảng SPM (Sea Port Management) EDI trao đổi dữ liệu với hải quan, hãng tàu

Đơn vị quản lý và khai thác	Bến container	Công nghệ
Công ty CP cảng Mippec (MPC)	Mippec	Dịch vụ cảng điện tử e-port Hệ thống phần mềm khai thác cảng PL-TOS
Công ty cổ phần Cảng VIMC Đình Vũ (thuộc VIMC)	VIMC Đình Vũ	Hệ thống phần mềm quản lý, khai thác container (PL-TOS); Phần mềm kết nối dữ liệu hải quan, thu phí hạ tầng (PL-CEM); Dịch vụ cảng điện tử (e-Port); Phần mềm quản lý tài chính - kế toán (PL-FS); Phần mềm quản lý nhân sự, tính lương; Hệ thống phần mềm tự động chụp ảnh nhận dạng số xe, số container; Phần mềm quản lý trạm cân; Phần mềm quản lý điểm Checking Point Hệ thống camera giám sát 24/7
Tập đoàn Hateco	HHIT	Hệ thống khai thác cảng NAVIS N4 TOS Hệ thống quản lý doanh nghiệp IFS Cloud ERP Hệ thống đặt lịch xe vào cảng - Truck Appointment System (TAS) Mạng 5G nội bộ Trung tâm điều hành với camera giám sát 24/7

### Đóng góp của các tác giả trong bài báo

**Bùi Thị Thùy Linh:** Phương pháp, Quản lý dữ liệu, Phân tích chính thức, Điều tra, Xác thực, Trục quan hóa, Phản hồi ý kiến phản biện, Viết – bản thảo gốc. **Nguyễn Văn Hùng:** Biên soạn dữ liệu, Phân tích dữ liệu, Điều tra, Xác thực.

### Tuyên bố không xung đột lợi ích và cam kết bản quyền

Các tác giả tuyên bố về sự không xuất hiện những xung đột tiềm ẩn từ nghiên cứu này, và cam kết bài báo chưa từng được công bố trước đây.

### Chia sẻ dữ liệu theo yêu cầu

Dữ liệu không được cung cấp theo yêu cầu.

1<sup>st</sup> Bui Thi Thuy Linh. *Faculty of Economics, Vietnam Maritime University*

2<sup>st</sup> Nguyen Van Hung. *Faculty of Economics, Vietnam Maritime University*

\*Corresponding author: linhbtt@vimaru.edu.vn

### Tài liệu tham khảo

- [1] A. Agatić and I. Kolanović, "Improving the seaport service quality by implementing digital technologies," *Scientific Journal of Maritime Research*, vol. 34, pp. 93–101, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.31217/p.34.1.11>.
- [2] N. S. Madusanka, Y. Fan, S. Yang, and X. Xiang, "Digital Twin in the Maritime Domain: A Review and Emerging Trends," *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 11, no. 5, p. 1021, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/jmse11051021>.
- [3] P. C. Verhoef, T. Broekhuizen, Y. Bart, A. Bhattacharya, J. Q. Dong, N. Fabian, and M. Haenlein, "Digital transformation: A multidisciplinary reflection and research agenda," *Journal of Business Research*, vol. 122, pp. 889–901, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.09.022>.
- [4] F. Almeida, "Challenges in the Digital Transformation of Ports," *Businesses*, vol. 3, no. 4, pp. 548–568, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/businesses3040034>.
- [5] R. Mao, Y. Li, and H. Zhang, "Digital Twin-Based Research in the Maritime Industry: A Brief Survey," in *Proc. IECON 2023 – 49th Annu. Conf. IEEE Ind. Electron. Soc.*, Singapore, 2023, pp. 1–6. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/IECON51785.2023.10311986>.
- [6] Industrial Internet Consortium, *Digital Twin for Industrial Applications: Definition, Business Values, Design Aspects, Standards and Use Cases*, White Paper, Ver. 1.0, 2020. [Online]. Available: <https://www.iiconsortium.org>. [Accessed: Mar. 2025].
- [7] M. Grieves, *Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication*, White Paper, 2014. [Online]. Available:

- [http://www.aprison.com/library/Whitepaper\\_Dr\\_Grieves\\_DigitalTwin\\_ManufacturingExcellence.php](http://www.aprison.com/library/Whitepaper_Dr_Grieves_DigitalTwin_ManufacturingExcellence.php)
- [8] F. Tao, H. Zhang, A. Liu, and A. Y. C. Nee, "Digital Twin in Industry: State-of-the-Art," *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 15, no. 4, pp. 2405–2415, 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/TII.2018.2873186>.
- [9] Y. Zheng, S. Yang, and H. Cheng, "An application framework of digital twin and its case study," *J. Ambient Intell. Human Comput.*, vol. 10, pp. 1141–1153, 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s12652-018-0911-3>.
- [10] C. Zhou *et al.*, "Analytics with digital-twinning: A decision support system for maintaining a resilient port," *Decision Support Systems*, vol. 143, p. 113496, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.dss.2021.113496>.
- [11] J. Neugebauer, L. Heilig, and S. Voß, "Digital Twins in the Context of Seaports and Terminal Facilities," *Flex. Serv. Manuf. J.*, vol. 36, pp. 821–917, 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s10696-023-09515-9>.
- [12] S. M. Homayouni, J. P. de Sousa, and C. M. Marques, "Unlocking the potential of digital twins to achieve sustainability in seaports: The state of practice and future outlook," *WMU Journal of Maritime Affairs*, vol. 24, pp. 59–98, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s13437-024-00349-2>.
- [13] A. Fuller, Z. Fan, C. Day, and C. Barlow, "Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 108952–108971, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2998358>.
- [14] D. M. Botín-Sanabria, A.-S. Mihaita, R. E. Peimbert-García, M. A. Ramírez-Moreno, R. A. Ramírez-Mendoza, and J. d. J. Lozoya-Santos, "Digital Twin Technology Challenges and Applications: A Comprehensive Review," *Remote Sensing*, vol. 14, no. 6, p. 1335, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/rs14061335>.
- [15] R. Klar, A. Fredriksson, and V. Angelakis, "Digital Twins for Ports: Derived From Smart City and Supply Chain Twinning Experience," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 71777–71799, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3295495>.
- [16] H. Yao, D. Wang, M. Su, and Y. Qi, "Application of Digital Twins in Port System," *J. Phys.: Conf. Ser.*, vol. 1846, p. 012008, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1846/1/012008>.
- [17] K. Wang, Q. Hu, M. Zhou, Z. Zun, and X. Qian, "Multi-aspect applications and development challenges of digital twin-driven management in global smart ports," *Case Studies on Transport Policy*, vol. 9, no. 3, pp. 1298–1312, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2021.06.014>.
- [18] A. Yang, Y. Liu, C. Xin, Q. Chen, and L. Wang, "Towards intuitive visualisation goals for the operation optimisation of automated container terminal based on digital twin technology," *Maritime Policy & Management*, vol. 51, no. 4, pp. 631–652, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1080/03088839.2023.2166686>.
- [19] Y. Zhou, Z. Fu, J. Zhang, W. Li, and C. Gao, "A Digital Twin-Based Operation Status Monitoring System for Port Cranes," *Sensors*, vol. 22, no. 9, p. 3216, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/s22093216>.
- [20] Y. Zhang *et al.*, "Digital Twin Enhanced Reinforcement Learning for Integrated Scheduling in Automated Container Terminals," in *Proc. IEEE 19th Int. Conf. Autom. Sci. Eng. (CASE)*, Auckland, New Zealand, 2023, pp. 1–6. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/CASE56687.2023.10260497>.
- [21] Y. Ding *et al.*, "Real-Time Monitoring and Optimal Resource Allocation for Automated Container Terminals: A Digital Twin Application at the Yangshan Port," *J. Adv. Transportation*, p. 6909801, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1155/2023/6909801>.
- [22] G. H. Dinh and N. H. Vu, "Xu thế đầu tư vào các công nghệ IoT, AI, Blockchain, Big Data trong lĩnh vực vận tải và logistics tại Việt Nam," *Tạp chí KHCN Giao thông vận tải*, vol. 14, no. 1, pp. 71–83, 2025. [Online]. Available: [https://doi.org/10.55228/JTST.14\(1\).71-83](https://doi.org/10.55228/JTST.14(1).71-83).
- [23] Y. Phạm Thị and G. Nguyễn Thị Hương, "Nghiên cứu các tiêu chí ảnh hưởng quyết định áp dụng công nghệ số hướng tới cảng biển thông minh," *Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải*, vol. 70, pp. 101–105, 2022. [Online]. Available: <https://jmst.vimaru.edu.vn/index.php/tckhcnhh/article/view/18>.
- [24] Y. Phạm Thị, "Ứng dụng phương pháp Delphi xác định các yếu tố ảnh hưởng đến việc thực hiện

- chuyển đổi số thành công tại các cảng biển,” *Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải*, vol. 81, pp. 113–118, 2025. [Online]. Available: <https://jmst.vimaru.edu.vn/index.php/tckhcnhh/article/view/526>.
- [25] T. Lê Sơn, “Nghiên cứu các yếu tố tác động đến việc triển khai công nghệ Blockchain trong ngành vận tải biển và logistics,” *Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải*, vol. 81, pp. 104–112, 2025. [Online]. Available: <https://www.jmst.vimaru.edu.vn/index.php/tckhcnhh/article/view/525>.
- [26] H. Lê Mạnh and H. Nguyễn Hữu, “Nghiên cứu các yếu tố tác động đến việc áp dụng hệ thống thông tin cảng biển tại các bến cảng container khu vực Hải Phòng,” *Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải*, vol. 77, pp. 74–80, 2024. [Online]. Available: <http://jmst.vimaru.edu.vn/index.php/tckhcnhh/article/view/419>.
- [27] J.-O. Eom, J.-H. Yoon, J.-H. Yeon, and S.-W. Kim, “Port Digital Twin Development for Decarbonization: A Case Study Using the Pusan Newport International Terminal,” *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 11, no. 9, p. 1777, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/jmse11091777>.
- [28] R. Klar *et al.*, “Digital Twins for Ports: Derived From Smart City and Supply Chain Twinning Experience,” *IEEE Access*, vol. 11, pp. 71777–71799, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3295495>.
- [29] L. G. Tornatzky and M. Fleischer, *The Processes of Technological Innovation*, Lexington, MA: Lexington Books, 1990.
- [30] J. Baker, “The Technology–Organization–Environment Framework,” in *Information Systems Theory*, Y. Dwivedi, M. Wade, and S. Schneberger, Eds., vol. 28, New York, NY: Springer, 2012. [Online]. Available: [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6108-2\\_12](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6108-2_12).
- [31] M. Bijker and M. Hart, “Factors influencing pervasiveness of organisational business intelligence,” in *Proc. 3rd Int. Conf. Business Intelligence and Technology*, Valencia, Spain, May 27–Jun. 1, 2013, pp. 21–26.
- [32] A. Gunasekaran, Y. Y. Yusuf, E. O. Adeleye, and T. Papadopoulos, “Agile manufacturing practices: the role of big data and business analytics with multiple case studies,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 56, no. 1–2, pp. 385–397, 2017. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1395488>.
- [33] K. Zhu, K. L. Kraemer, and S. Xu, “The process of innovation assimilation by firms in different countries: A technology diffusion perspective on e-business,” *Management Science*, vol. 52, no. 10, pp. 1557–1576, 2006.
- [34] S. Mittal, M. A. Khan, D. Romero, and T. Wuest, “A critical review of smart manufacturing & Industry 4.0 maturity models: Implications for small and medium-sized enterprises (SMEs),” *J. Manuf. Syst.*, vol. 49, pp. 194–214, 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.10.005>.
- [35] A. Chiniah, A. E. U. Mungur, and K. Naidoo Permal, “Evaluation of Cloud Computing Adoption Using a Hybrid TAM/TOE Model,” in *Information Systems Design and Intelligent Applications*, S. Satapathy *et al.*, Eds., vol. 863, Singapore: Springer, 2019. [Online]. Available: [https://doi.org/10.1007/978-981-13-3338-5\\_24](https://doi.org/10.1007/978-981-13-3338-5_24).
- [36] Bộ Xây dựng, *Quyết định số 756/QĐ-BXD về việc Phê duyệt Quy hoạch chi tiết phát triển vùng đất, vùng nước cảng biển Hải Phòng thời kỳ 2021–2030, tầm nhìn đến năm 2050*, 2025. [Online]. Available: <https://moc.gov.vn/vn/Pages/ChiTietVanBan.aspx?vID=4622&TypeVB=1>.
- [37] Bộ Xây dựng, *Quyết định số 318/QĐ-BXD về việc công bố Danh mục bến cảng thuộc các cảng biển Việt Nam*, 2025. [Online]. Available: <https://moc.gov.vn/vn/Pages/ChiTietVanBan.aspx?vID=4>.