



Tối ưu hóa quản lý vận tải container tại tổ hợp cảng: mô hình, quy trình, ứng dụng thực nghiệm và đề xuất giải pháp số hóa Optimization of Container Transportation Management at Port Complexes: Models, Processes, Experimental Applications, and Proposals for Digital Solutions

Đặng Thị Bích Hoài*

Viện kinh tế và phát triển giao thông vận tải, Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh.

Từ khóa:

TÓM TẮT

Quản lý vận tải container
Tối ưu hóa logistics
Số hóa vận hành.

Nghiên cứu này tập trung vào các giải pháp tối ưu hóa quản lý vận tải container ở tổ hợp cảng hiện đại tại Việt Nam, đặc biệt trong môi trường số hóa logistics. Bài báo tổng hợp lý thuyết, phương pháp tối ưu hóa từ mô hình toán học và heuristic, triển khai thực nghiệm quy trình tiếp vận, khai thác container, lập lịch sử dụng phương tiện, tối ưu hóa mặt bằng, số hóa luồng dữ liệu vận hành, và đề xuất giải pháp nâng cao hiệu quả trong thực tế. Bài báo phân tích sâu các bước quy trình, mô hình phối hợp chiều vận chuyển đi/về, giảm xe rỗng, kiểm tra & giám sát vận hành, đồng thời tích hợp phần mềm quản lý hiện đại (MES/ERP/TOS, RFID, AI). Tác giả đã minh họa cho quy trình và mô hình quản lý container giúp tóm tắt cấu trúc điều phối trong bãi, tối ưu hóa mặt bằng và triển khai công nghệ mới bằng hệ thống các hình vẽ và bảng biểu.

Keywords:

ABSTRACT

Container transportation management
Logistics optimization
Operational digitalization.

This study focuses on optimizing container transportation management at modern port complexes in Vietnam, particularly within the context of logistics digitalization. It synthesizes theories and optimization methods from mathematical modeling and heuristics, implements experimental procedures for container handling, vehicle scheduling, yard space optimization, and operational data digitization. The study analyzes each process step, coordinates two-way transport flows to reduce empty trips, monitors operation with integrated software systems (MES/ERP/TOS, RFID, AI), and proposes practical improvements to increase efficiency. Experimental results demonstrate reduced empty trips, enhanced container turnaround, cost reduction, and improved service quality. The integrated management software promotes digital transparency, real-time tracking, and faster adaptation to market fluctuations. Recommendations include developing comprehensive digital process models, personnel training, real-time data linkage between ports, depots, vehicles and customers, and continuous software updates to maintain logistics competitiveness.

* Đặng Thị Bích Hoài. Viện Kinh tế và Phát triển Giao thông vận tải, Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh.

Email: hoai.dang@ut.edu.vn

<https://www.doi.org/10.55228/JTST150107>

Ngày nhận bài: 28/08/2025; Ngày nộp bài sửa: 10/12/2025 ; Ngày chấp nhận đăng: 14/01/2026

Ngày xuất bản trực tuyến: 15/01/2026

pISSN: 1859-4263; eISSN: 3030-4261

1. Giới thiệu

Quản lý vận tải container là trọng tâm của chuỗi cung ứng và logistics hiện đại tại các cảng biển, depot và doanh nghiệp vận tải. Quá trình vận hành container không chỉ dừng lại ở việc di chuyển đơn thuần mà còn bao gồm nền tảng số hóa quản lý, phối hợp đa phương tiện, quy tắc ưu tiên cho lập lịch nguồn lực, tối ưu hóa sử dụng tài nguyên, giảm lãng phí và phát triển bền vững logistics. Sự biến động thực tế – từ sản lượng lưu thông, yêu cầu khách hàng, chu kỳ nhập/xuất – đòi hỏi doanh nghiệp cảng phải liên tục cập nhật mô hình mới, tối ưu chi phí, nâng cao năng lực cạnh tranh, và sẵn sàng hợp tác quản lý thông minh trong môi trường số hóa [1], [2].

2. Tổng quan về tình hình nghiên cứu

2.1 Mô hình tối ưu hóa vận tải container

Các lý thuyết vận tải container thế giới dựa vào mô hình toán tổ hợp, suy nghiệm (heuristic), mô phỏng IP/GAP, điều độ và Logic hướng sự kiện đã được áp dụng tại nhiều môi trường cảng lớn. Một số mô hình nổi bật gồm Heuristic phân loại đơn hàng (DDATE, FIFO, SLACK), tối ưu hóa quay vòng container, giảm phát sinh xe rỗng, logic tổ hợp chiều vận chuyển đi/về kết hợp chiến lược quay đầu bằng xe và sử dụng phần mềm tích hợp ERP/TOS [3], [4], [5].

Quản lý vận hành số hóa: Các hệ thống như TOS (Terminal Operating System), ERP, RFID, AI và IoT được tích hợp giúp giám sát trạng thái container, mô phỏng vận tải thực tế, tối ưu hóa thời gian bảo trì, truy xuất dữ liệu nhanh, điển hình là các nghiên cứu tại cảng Rotterdam, Singapore, Los Angeles triển khai quản lý vận tải theo luồng dữ liệu real-time để giảm chuyển rỗng và nâng cao năng lực quay vòng container.

2.2 Truy vết công nghệ và số hóa vận hành

Các công trình gần đây chuyển dịch mạnh mẽ sang việc kết nối AI, RFID, phần mềm ERP/YMS nhằm tự động hóa giám sát vận hành container, khai thác dữ liệu hiệu quả, báo cáo trạng thái thời gian thực, và giảm tối đa thao tác thủ công – nâng tầm logistics Việt Nam hội nhập quốc tế và tăng năng suất [3], [6].

Các nghiên cứu trước đây về tối ưu hóa vận tải container tại cảng biển và depot trên thế giới tập trung vào một số hướng chính như sau:

- Mô hình toán học & tổ hợp: Nhiều công trình xây dựng mô hình toán quy hoạch tuyến tính, vận tải tổ hợp và tối ưu hóa bãi container, điển hình như các nghiên cứu của Veenstra et al. (2012) và Carlo et al. (2016) về lập lịch và tối ưu hóa vận tải container đa phương thức;
- Thuật toán heuristic & metaheuristic: Các giải thuật heuristic (cheapest insertion, GRASP, Tabu search, genetic algorithm) được áp dụng rộng rãi để giải các bài toán phức tạp về sắp xếp container, quay vòng thiết bị, phối hợp phương tiện trên nền dữ liệu lớn, ví dụ W.Q. Wan et al. (2015) về phân loại và xếp chồng container hiệu quả.

2.3 Điểm khác biệt nổi bật của nghiên cứu này

Tại bài báo này, tác giả trình bày nghiên cứu tập trung tích hợp từ lý thuyết toán học, heuristic, đến thực nghiệm vận hành thực tế, đồng thời đề xuất mô hình số hóa quy trình toàn diện (giám sát - điều phối - báo cáo - cải tiến) và giải pháp kết nối dữ liệu đa điểm giữa cảng, depot, phương tiện, khách hàng. Đây là cách tiếp cận mới, trực quan hóa quy trình vận tải container hiện đại cho môi trường cảng Việt Nam, nhằm thúc đẩy số hóa, minh bạch hóa, và chủ động thích ứng biến động thị trường logistics hiện đại.

3. Phương pháp nghiên cứu

3.1 Mô hình toán học và thuật toán tối ưu

Phương pháp luận dựa trên việc xác định số lượng phương tiện tối thiểu, phân vùng khu vực giao nhận, dùng các công thức tổ hợp nhằm tối ưu hóa chi phí vận chuyển. Thuật toán ưu tiên DDATE, FIFO, SLACK, LWKR giúp phân loại đơn hàng, điều phối chuỗi vận chuyển, bán tự động hóa luồng container bằng mô hình heuristic.

3.2 Quy trình vận hành container

Quy trình triển khai gắn với thực nghiệm, gồm các bước:

- Tiếp nhận, phân loại và ưu tiên đơn hàng;
- Thiết kế kế hoạch sử dụng phương tiện, phân vùng và lịch trình vận chuyển tối ưu;

- Xây dựng luồng trình tự phương tiện (xe tải, đầu kéo, container) theo trạng thái rỗi/bận, mô hình hóa luồng công việc;

- Xử lý sự kiện động, cập nhật liên tục trạng thái tài nguyên (container, xe, thiết bị xếp dỡ);

- Tối ưu hóa phối hợp chiều vận chuyển đi/về, giảm tối đa phát sinh xe rỗng;

- Số hóa công tác giám sát, điều chỉnh lịch trình, phân tích dữ liệu vận tải và tái cấu trúc định kỳ các điểm nghẽn bằng phần mềm hiện đại.

4. Quy trình thực nghiệm quản lý, khai thác vận tải container

4.1 Các bước trong thực nghiệm quy trình

4.1.1 Tiếp nhận và phân loại yêu cầu vận chuyển

Nhận lệnh xuất nhập container, xác định trình tự vận chuyển theo quy tắc ưu tiên (DDATE, FIFO, SLACK, LWKR). Đơn hàng được phân loại theo thời hạn, loại container, địa điểm và thời gian yêu cầu [7], [8].

4.1.2 Thiết kế kế hoạch sử dụng phương tiện

Thuật toán tìm số lượng đơn vị đầu xe ô tô ít nhất cần phải có để thực hiện các đơn hàng theo yêu cầu xuất - nhập, rút - trả container có cấu trúc như sau (ở đây ta sẽ giải trình cho n dạng xe ô tô và b dạng container chủ yếu tương ứng với chúng, trong đó $b = E_{n1}$, còn dạng container thứ hai đồng hành với dạng đó thì sẽ không tính đến) [5], [6], [7], [8], [9].

(i) Giả thiết về môi trường vận tải và khách hàng:

- Các điểm giao nhận container (khách hàng) và cảng được xác định rõ ràng, thuộc các khu vực địa lý phân vùng cụ thể;

- Mỗi khách hàng thuộc duy nhất một khu vực giao nhận, không có sự chồng lấn khu vực giao nhận giữa các điểm khách hàng;

- Container được vận chuyển theo hai chiều rõ ràng: chiều đi (xuất từ cảng về khách hàng) và chiều về (khách hàng trả container về cảng);

- Loại phương tiện vận tải là xe ô tô đầu kéo và container quy chuẩn (đã loại bỏ các trường hợp khác kèm theo như container thứ hai đồng hành).

Đối với tất cả các địa điểm đến j_f , trong đó $f = 1, 2, \dots, F$ là số thứ tự của khách hàng thứ f , ta cần phải tính toán các đại lượng ε_{1f} và ε_{2f} biểu thị số container cần thiết phải chuyên chở trên một chiều (ở đây ε_{1f} là số container được rút đi từ cảng CTP (Container Terminal Port) chở đến địa điểm j_f cho chủ hàng thứ f ; và ε_{2f} là chở container từ địa điểm khách hàng j_f trả về cảng CTP từ khách hàng thứ f):

$$\varepsilon_{qf} = \left\lceil \frac{v_{bqf}}{E_{n1}} \right\rceil \quad (1)$$

Công thức (1) đại diện cho số container trên một chiều mã hóa cụ thể, giả thiết rằng các thông tin về số lượng container được cập nhật chính xác, nhất quán, và không thay đổi trong kỳ hoạch định.

(ii) Giả thiết về tính tuyến tính và đồng nhất của chuyển vận tải:

- Mỗi chuyển vận tải được xem là tuyến đơn, tuyến cố định giữa cảng và khách hàng hoặc khu vực giao nhận;

- Các chuyển đi và về có thể ghép nối để tận dụng xe rỗng quay lại, giảm số chuyển vận tải tổng thể (giả thiết về khả năng quay đầu phục vụ lại điểm xuất phát);

- Các giá trị số lượng container và phương tiện là số nguyên dương, không phân mảnh.

Đối với mỗi khu vực $w = 1, 2, \dots, W$, trước hết cần tính các đại lượng V_{1w} và V_{2w} , biểu thị số container cần thiết phải chuyên chở mỗi chiều rút đi và trả về theo từng khu vực nói chung là:

$$V_{qw} = \sum_{f=j_0(w)} \varepsilon_{qf} \quad (2)$$

Trong đó $j_0(w) = \{j_f | m1_w \leq j_f \leq m2_w\}$ là tập hợp các địa điểm khách hàng nằm trong khu vực w Công thức (2) để giải quyết:

- Tập hợp các điểm khách hàng trong khu vực

được giả định cố định trong phạm vi nghiên cứu;

- Số container cần vận chuyển trong khu vực được tổng hợp đầy đủ theo chiều đi và về.

(iii) Các điều kiện vận tải liên quan đến cân bằng luồng:

- Số lượng container vận chuyển chiều đi và chiều về được cân bằng hoặc được bù trừ tối ưu dựa theo dữ liệu thực tế yêu cầu vận chuyển;

- Luồng vận tải phải đảm bảo đầy đủ tất cả các đơn hàng xuất nhập container đã được phân loại và ưu tiên trước theo các thuật toán DDATE, FIFO, SLACK, LWKR;

- Phương tiện quay chiều rỗng được tận dụng triệt để theo nguyên tắc ghép chuyển nhằm giảm số lượng đơn vị phương tiện cần thiết.

Với mỗi khu vực $w=1,2,...,W$, ta còn phải tính các đại lượng $\hat{V}_w$, đó là những đại lượng biểu thị số chuyển vận chuyển hai chiều cần thiết giữa các điểm chủ hàng cùng trong khu vực đã cho và cảng CTP:

$$\hat{V}_w = \max(V_{1w}, V_{2w}) \quad (3)$$

Điều đó có nghĩa là, chừng nào các chuyển chở một chiều ngược lại còn có thể “được trang trải”, nghĩa là được thực hiện trên cùng một số đơn vị phương tiện vận chuyển khi quay lại, thì đại lượng $\hat{V}_w$ vẫn còn bị phụ thuộc vào đại lượng lớn hơn chưa được “thanh toán” toàn bộ là V_{1w} hoặc V_{2w} . Công thức (3) tính đến:

- Số chuyển vận tải hai chiều, phản ánh khả năng ghép nối chuyển đi và về trong cùng một khu vực, giả sử không có hạn chế về khả năng quay đầu của xe;

- Giả sử xe vận tải có thể quay chiều mà không cần thời gian mất mát lớn hoặc chi phí bổ sung gián đoạn;

(iv) Giả thiết về dữ liệu và tính ổn định của mô hình:

- Dữ liệu đầu vào về đơn hàng, số container, thời gian vận chuyển và trạng thái phương tiện, thiết bị là dữ liệu ổn định và chính xác, phù hợp dùng cho

việc dự báo và tối ưu hóa;

- Mô hình không tính đến các biến động cực đoan như tai nạn, sự cố kỹ thuật, điều kiện thời tiết bất thường hoặc thay đổi đột ngột về chính sách vận tải;

Tính tổng số chuyển chở hai chiều U để thực hiện hết đơn hàng yêu cầu như sau:

$$\hat{V} = \sum_{w=1}^W \hat{V}_w \quad (4)$$

Công thức (4) tính tổng số chuyển hai chiều được xác định như tổng số chuyển cần thiết phục vụ toàn bộ đơn hàng đã đặt trong khoảng thời gian nghiên cứu, giả thiết rằng không có các chuyển bị lặp hoặc bỏ sót.

(v) Khả năng áp dụng của mô hình:

- Mô hình thích hợp cho giai đoạn hoạch định theo kỳ cố định (ví dụ theo ca, ngày, tuần) với các điều kiện vận tải đã được chuẩn hóa;

- Mô hình phù hợp với môi trường cảng và depot vận tải container hiện đại tại Việt Nam, có khả năng mở rộng điều chỉnh khi áp dụng cho các cảng quy mô lớn hoặc điều kiện phức tạp hơn.

Tính giá trị cần tìm của đại lượng I_{min} :

$$I_{min} = \left\lceil \frac{\hat{V}}{2} \right\rceil \quad (5)$$

Áp dụng mô hình toán học (công thức 1-5) để xác định số lượng phương tiện tối thiểu cần thiết, phân vùng khu vực giao nhận, tính toán tổng chuyển vận chuyển cho từng khu vực, từng chiều đi/về [3], [4].

Tại công thức (5) số lượng phương tiện tối thiểu được xác định dựa trên tổng số chuyển và năng lực hoạt động trung bình của mỗi phương tiện trong một khoảng thời gian quy định, giả định phương tiện hoạt động liên tục không bị gián đoạn ngoài các yếu tố đã mô hình hóa.

Khả năng áp dụng của mô hình:

- Mô hình thích hợp cho giai đoạn hoạch định theo kỳ cố định (ví dụ theo ca, ngày, tuần) với các điều kiện vận tải đã được chuẩn hóa;

- Mô hình phù hợp với môi trường cảng và depot vận tải container hiện đại tại Việt Nam, có khả năng mở rộng điều chỉnh khi áp dụng cho các cảng quy mô lớn hoặc điều kiện phức tạp hơn.

4.1.3 Tạo lịch trình vận chuyển container

Lập chuỗi trình tự phương tiện phù hợp điều kiện thực tế, xếp xe theo trạng thái rỗi/hoạt động, phân loại xe phù hợp từng loại container. Mô hình hóa luồng công việc (xe-container-thiết bị xếp dỡ), cập nhật trạng thái liên tục [3].

4.1.4 Xử lý các sự kiện vận hành

Bộ xử lý sự kiện kích hoạt khi có biến động trạng thái phương tiện-container-thiết bị xếp dỡ (xuất hiện xe rỗng, kết thúc chuyển, hoàn thành xếp dỡ). Cập nhật thời gian mô hình, trạng thái từng xe/container, tiến trình các khâu vận hành [3], [4].

4.1.5 Tối ưu hóa luồng phương tiện & container

Tự động kiểm tra phối hợp luồng xe-container bằng ghép chuyển đi/về, giảm số xe phải dừng. Tận dụng xe rỗng cho chiều quay lại theo quy tắc ưu tiên, kết hợp tối ưu hóa thứ tự xử lý container, kích bản khai thác thiết bị xếp dỡ hiệu quả nhất [3], [4].

4.1.6 Giám sát, điều chỉnh và báo cáo

Theo dõi trạng thái phương tiện, hành trình, năng lực khai thác container thời gian thực. Cập nhật lịch trình theo biến động thực tế, lập báo cáo tổng kết chuyển, chi phí, năng suất, mức độ đáp ứng khách hàng [3], [4].

4.1.7 Phân tích và tái cấu trúc quy trình

Định kỳ phân tích dữ liệu vận tải, nhận diện điểm nghẽn và chi phí lớn, cập nhật các thuật toán tối ưu hóa mới và hoàn thiện mô hình lập lịch để cải tiến liên tục [5], [6], [7].

4.2 Sơ đồ hóa tổng quát quy trình

Tiếp nhận yêu cầu → Xác định thứ tự ưu tiên → Tính toán số xe & lịch trình → Vận hành phương tiện → Xử

lý sự kiện → Tối ưu hoá luồng → Giám sát & điều chỉnh → Báo cáo & cải tiến [8], [9], [10].



Hình 1. Sơ đồ quản lý, khai thác phương tiện Vận Tải Container

4.3 Các mô hình đi sâu tối ưu hóa mặt bằng và vận tải container

4.3.1 Quy trình bố trí vị trí container tiết kiệm diện tích

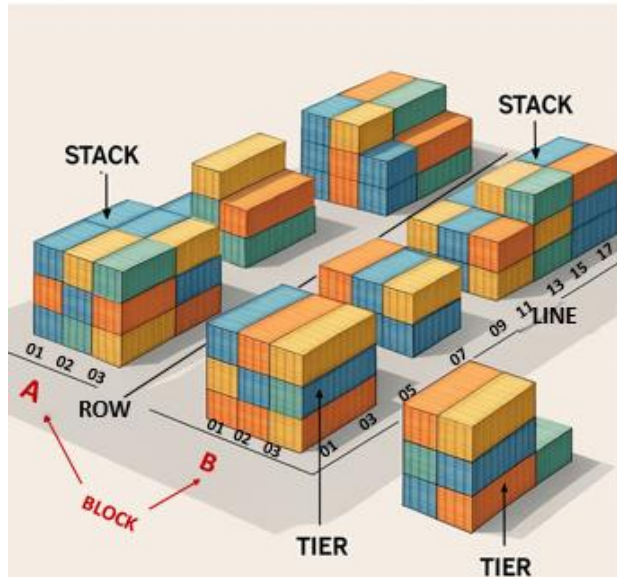
- Đánh giá khu vực xếp bãi, xác định diện tích, vị trí cầu/ bến, thiết bị sử dụng trong bãi, quy hoạch khối (blocks), hàng dọc (line), hàng ngang (row), tầng (tier) tối đa hóa xếp chồng container;

- Sơ đồ hóa block, xếp line/ row/ tier tối ưu, quy hoạch lối đi cho thiết bị vận hành, cập nhật bình đồ (layout bằng phần mềm quản lý).

4.3.2 Bố trí CY, Depot theo module

- Chia bãi container thành module (block) chức năng riêng biệt, phục vụ độc lập từng hãng, tuyến, rỗng/ hàng, xuất/nhập, container thường/ đặc biệt... nhằm tăng hiệu quả vận hành;

- Thiết kế số hàng, dãy, tầng, bố trí thiết bị và lối đi cho từng module theo quy hoạch loại thiết bị sử dụng và thời gian lưu bãi bình quân.



Hình 2. Xếp container trong CY, Depot

Bảng 1. Quy trình chia bãi theo Module

Bước	Nội dung chính
Phân chia module	Định nghĩa số block, row, bay, tier từng container/đơn vị vận tải
Phân nhóm chức năng	Module phục vụ nhóm riêng (xuất/nhập, hãng tàu, lô hàng...)
Bố trí vận hành	Thiết kế lối đi, vị trí thiết bị riêng từng module
Cập nhật hệ thống	Quản lý bằng phần mềm, cập nhật trạng thái, vị trí, chức năng từng module
Kiểm tra giám sát	Đánh giá hiệu quả thực tế, điều chỉnh khi phát sinh nhu cầu

4.3.3 Tối ưu lối đi, xen kẽ xếp container trong CY/Depot

- Quy hoạch các lối đi chính dạng lưới, xen kẽ lối đi giữa các khối /container, chia sẻ lối đi linh hoạt và kiểm soát thời gian vận chuyển của phương tiện;
- Tối ưu hóa chồng hàng bằng mô hình xen kẽ, giảm thao tác đảo chuyển, giảm thời gian dịch chuyển và va chạm thiết bị.

4.3.4 Số lượng rows và bays của module bãi container

Khoảng cách giữa các module để các thiết bị thao tác với năng suất tốt nhất, tránh va chạm được thể hiện trong bảng 2.

Bảng 2. Thông số diện tích bãi theo thiết bị xếp dỡ

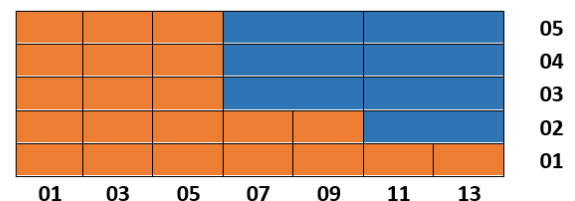
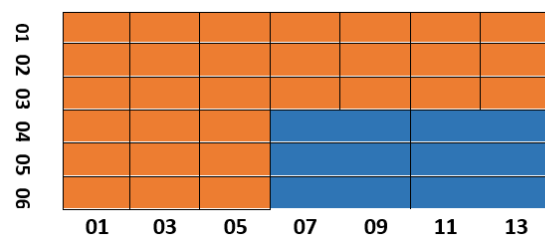
Thông số module	Ý nghĩa	Giá trị tham khảo		
		Xe nâng/chục	RTG	RMG
Khoảng cách (d)	Khoảng cách giữa 2 module (m)	Xe nâng: 18 Xe chục: 11	6-9	10-12
Diện tích (S)	Diện tích bình quân/teu (m ²)	Xe chục: 15 Nâng rỗng: 7	12	9

Số lượng line/ row/ tier trong module bãi container phụ thuộc vào thông số kỹ thuật của thiết bị nâng/ hạ trong bãi. Việc phân bố số lượng line, row, tier của Module bãi container được thể hiện như bảng 3.

Bảng 3. Số lượng rows và bays của Module bãi container.

Thông số module	Ý nghĩa	Giá trị tham khảo
Rows (r)	Hàng ngang theo chiều rộng module	6-10
Bays (b)	Dãy dọc theo chiều dài module	8-16
Tiers (h)	Số tầng xếp chồng	3-5 (tối đa 7)
Modules (m)	Số module toàn bãi	Theo tổng sức chứa

4.4 Xếp xen kẽ container theo kích thước (20ft, 40ft)



Hình 3. Xếp container tối ưu hóa theo kích thước.

- Xếp chồng offset stacking: 2×20ft dưới, 1×40ft trên; pinwheel stacking (xếp vuông góc/xoay); xếp tách line (line chẵn cho 40ft, line lẻ cho 20ft) [10];

- Lưu ý: container nặng dưới, đảm bảo điểm góc lắp ghép chịu tải.

4.5 Quản lý – Sắp xếp container và vận hành hiện đại

- Tiếp nhận, kiểm tra tình trạng, phân loại (FCL/LCL), quy hoạch vị trí, sử dụng xe đầu kéo/cầu, cập nhật kế hoạch bãi lên hệ thống TOS/YMS;

- Xếp container: nặng dưới, nhẹ trên, sát vị trí nhập/xuất, điều phối xe/nâng/cầu liên tục;

- Quy trình quản lý tổng thể: tiếp nhận – phân loại – sắp xếp/lưu trữ – bảo trì – điều phối vận chuyển – quản lý hệ thống – giao nhận/kiểm tra – thanh lý container.

4.6 Quy trình và công nghệ tiếp nhận EIR container

Bảng 4. Quy trình tiếp nhận EIR Container

Bước	Nội dung chính
1	Kiểm tra tình trạng container, đối chiếu giấy tờ
2	Ghi nhận thông tin vào phiếu EIR
3	Ký xác nhận các bên
4	Lưu trữ phiếu EIR trong hồ sơ vận chuyển

- Kiểm tra thực tế: loại, số hiệu, kích thước, tình trạng vật lý/phụ kiện; ghi nhận phiếu EIR, lưu trữ và ký xác nhận;

- Liên kết EIR vào hệ thống: xác nhận điện tử, đồng bộ thẻ RFID/OCR, cập nhật vị trí/trạng thái lên phần mềm quản lý bãi.

4.7 Quy định an toàn vận hành thiết bị trong bãi container

- Người vận hành thiết bị phải qua đào tạo, có chứng chỉ, dùng thiết bị bảo hộ đầy đủ;

- Kiểm tra thiết bị trước vận hành, tuân thủ quy tắc giao thông nội bộ, không vận chuyển quá tải trọng; kiểm tra, bảo dưỡng định kỳ;

- Trang bị phòng cháy chữa cháy, môi trường làm việc sạch sẽ, chiếu sáng đầy đủ ban đêm.

5. Thảo luận: Hiệu quả thực nghiệm, triển vọng và giải pháp số hóa

Quy trình quản lý và khai thác container tối ưu hóa vừa giảm số chuyển rỗng, tăng hiệu suất quay vòng, giảm chi phí, vừa nâng cao hiệu quả phục vụ, năng lực truy vết, và khả năng phối hợp đa chiều giữa các bộ phận khai thác, vận chuyển, khách hàng. Sự tích hợp phần mềm quản lý vận tải – MES/ERP/TOS, RFID, AI, báo cáo tự động – thúc đẩy số hóa, minh bạch hóa vận chuyển, chủ động kiểm soát trạng thái và lịch sử container, phòng tránh điểm nghẽn logistics, chuẩn bị tốt cho các biến động thực tế [8], [9], [10], [11], [12].

Nghiên cứu ghi nhận các khuyến nghị cần thiết:

- Hoàn thiện mô hình số hóa quy trình toàn diện, cập nhật thuật toán mới;

- Đào tạo nhân sự khai thác, vận hành – phối hợp chặt chẽ giữa các bộ phận logistics;

- Kết nối dữ liệu real-time giữa hệ thống cảng, depot, phương tiện vận tải và khách hàng;

- Thường xuyên phân tích dữ liệu vận hành, cập nhật phần mềm quản lý thông minh, phản ứng nhanh với biến động thị trường;

- Duy trì kế hoạch dự phòng container, phân phối linh hoạt nguồn lực, bảo trì/kiểm tra thiết bị và vỏ container định kỳ.

6. Kết luận

Nghiên cứu này xác nhận hiệu quả áp dụng các mô hình, quy trình tối ưu hóa quản lý vận tải container, đặc biệt khi tích hợp phần mềm quản lý vận tải hiện đại, sử dụng mô hình toán học và thuật toán ưu tiên, vận dụng công nghệ số vào tổ hợp cảng hiện đại. Quy trình thực nghiệm nhấn mạnh khả năng giảm thời gian và chi phí vận chuyển, tăng năng suất quay vòng container, tự động hóa kiểm soát tình trạng hàng hóa, phối hợp nguồn nhân lực tinh gọn và minh bạch trách nhiệm từng bộ phận. Các giải pháp công nghệ – AI, RFID, ERP, TOS – tiếp tục duy trì xu hướng nâng cao hiệu quả quản lý container, thích ứng nhanh với biến động sản lượng và yêu cầu thị trường logistics.

Kết quả nghiên cứu đã xây dựng quy trình tối ưu hóa vận tải container, ứng dụng mô hình toán học và thuật toán phân loại đơn hàng, kết hợp giám sát điều phối số hóa, mang lại hiệu quả giảm chuyển rỗng, tăng tỷ suất quay vòng container và giảm chi phí vận hành [1]. Đặc

biệt, việc tích hợp công nghệ số như MES/ERP/TOS, RFID, AI mang lại sự minh bạch, kiểm soát trạng thái container theo thời gian thực và kết nối đa chiều.

6.1 Hạn chế của nghiên cứu

- Mô hình chủ yếu mới ứng dụng thực nghiệm tại các cảng Việt Nam, chưa kiểm thử trên quy mô quốc tế với các cảng có quy mô siêu lớn;
- Một số tham số thuật toán heuristic và dữ liệu vận hành chưa đa dạng về loại hình phương tiện, quy mô depot hoặc điều kiện đặc thù của các cảng lớn trên thế giới;
- Chưa mô phỏng các biến động bất thường như sự cố tắc nghẽn cảng, thay đổi chính sách, các yếu tố môi trường hoặc rủi ro thiên tai.

6.2 Hướng phát triển trong tương lai

- Nâng cấp mô hình xử lý bài toán tối ưu hóa vận tải container trong điều kiện ngẫu nhiên, bất định (stochastic, robust optimization);
- Nghiên cứu mở rộng kết nối real-time, đa điểm (inter-port networking) giữa các cảng quốc tế lớn để tăng khả năng tương tác và phân tích dự báo;
- Tích hợp trí tuệ nhân tạo và hệ thống tự động học để chủ động điều chỉnh thuật toán vận hành, tối ưu hóa toàn trình container logistics;
- Thực hiện thí điểm mô hình tại các cảng quy mô lớn của thế giới để kiểm định hiệu quả thực tế và tinh chỉnh thuật toán.

Phụ lục

Bảng 5. Ý nghĩa các thuật ngữ.

Thuật ngữ	Ý nghĩa
AI	Trí tuệ nhân tạo
Block	Khối ô nền chứa container
CTP	Tổ hợp cảng
CY	Bãi container
DDATE	Quy tắc được thiết lập trên cơ sở của những thời hạn kế hoạch
Depot	Nơi tập kết container

EIR	Phiếu giao nhận container
ERP	Hệ thống hoạch định nguồn lực doanh nghiệp
FCL	Phương thức vận chuyển hàng hóa nguyên container
FIFO	Quy tắc dựa trên sự sắp xếp trình tự thực hiện các đơn hàng tương ứng với thời hạn đi/đến của chúng
GAP	“Khoảng trống” không hữu ích trong khu vực xếp dỡ hay lưu trữ container
IP	Mô phỏng giúp xác định sơ đồ vị trí các container từ khi nhập bãi cho tới khi xuất bãi.
LCL	Hình thức vận chuyển hàng hóa lẻ
Line	Dãy theo chiều dọc bãi
LWKR	Quy tắc tính số thời gian còn lại nhỏ nhất
MES	Hệ thống điều hành sản xuất
RFID	Nhận dạng qua tần số vô tuyến
RMG	Cần cẩu giàn container chạy trên ray
Row	Hàng theo chiều ngang bãi
RTG	Cầu giàn bánh lốp di động
SLACK	Là quy tắc dựa trên việc sử dụng số thời gian dự trữ còn lại
Stack	Khối xếp chồng container
Tier	Chiều cao xếp chồng
TOS	Hệ thống khai thác bến

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

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 sẽ không được cung cấp theo yêu cầu.

Dang Thi Bich Hoai*. *University of Transport Ho Chi Minh City.*

*Corresponding author: hoai.dang@ut.edu.vn

Tài liệu tham khảo

- [1] J. Shi, "Optimization of container transportation between multi terminals based on carrier cooperation," *Highlights in Science, Engineering and Technology*, vol. 56, pp. 358–367, 2023, doi: 10.54097/hset.v56i.10694.
- [2] *Smartlog*, "Tối ưu lộ trình vận tải hàng hóa với SARP," *Oct. 1, 2025*. [Online]. Available: <https://gosmartlog.com/sarp-toi-uu-lo-trinh-van-tai-hang-hoa/>, accessed: Nov. 1, 2025.
- [3] В. В. Дыбская, *Логистика складирования для практиков*. Москва: Альфа-Пресс, 2005, pp. 201.
- [4] Л. Г. Дымова, "Методика построения гипернечетких функций желательности с учетом мнений группы экспертов при решении задач оценки и оптимизации качества методами теории нечетких множеств," *Вестник Самарского государственного технического университета. Серия Технические науки*, no. 15, pp. 24–28, 2002.
- [5] Ж.-Ж. Ламбен, *Менеджмент, ориентированный на рынок*. Санкт-Петербург: Питер, 2004, pp. 800.
- [6] Н. В. Румянцев, *Моделирование гибких производственно-логистических систем*. Донецк: ДонНУ, 2004, pp. 235.
- [7] Д. Джонсон, Д. Ф. Вуд, Д. Л. Вордлоу, и П. Р. Мерфи-мл., *Современная логистика*, 7-е изд. Москва: Издательский дом «Вильямс», 2002, pp. 624.
- [8] D. Ambrosino and H. Xie, "Optimization approaches for defining storage strategies in maritime container terminals," *Soft Computing*, vol. 27, pp. 4125–4137, 2023, doi: 10.1007/s00500-022-06769-7.
- [9] A. W. Veenstra, R. Zuidwijk, and E. van Asperen, "The extended gate concept for container terminals: Expanding the notion of dry ports," *Maritime Economics & Logistics*, vol. 14, no. 1, pp. 14–32, 2012, doi: 10.1057/mel.2011.15.
- [10] F. Covic, "Literature review on container handling in the yard area," in *Container Handling in Automated Yard Blocks: An Integrative Approach Based on Time Information*, Cham, Switzerland: Springer, 2019, pp. 47–72, doi: 10.1007/978-3-030-05291-1_4.
- [11] T. Notteboom, A. Pallis, and J.-P. Rodrigue, "Container terminal automation," in *Port Economics, Management and Policy*, New York, NY, USA: Routledge, 2022.
- [12] L. Meng, H. Ge, X. Wang, W. Yan, and C. Han, "Optimization of ship routing and allocation in a container transport network considering port congestion: A variational inequality model," *Ocean & Coastal Management*, vol. 244, Art. no. 106798, 2023, doi: 10.1016/j.ocecoaman.2023.106798.