

SIMULATION MODELLING OF CONTAINER TERMINAL OPERATIONS IN VIETNAM'S MARITIME TRANSPORT AND LOGISTICS SYSTEM: A REVIEW OF APPROACHES AND DEVELOPMENT DIRECTIONS

**Nguyen Minh Chien (Ho Chi Minh City, Vietnam), V.V. Baginova (Moscow),
Nguyen Van Hung (Hanoi, Vietnam)**

Introduction

Maritime ports are a key element of the national transport system and global supply chains. For Vietnam, located at the intersection of important international shipping routes and substantially dependent on foreign trade, port infrastructure plays a crucial role not only in cargo transshipment but also in integrating production, distribution, and logistics processes with world markets. According to industry statistics, in 2025 the container throughput of Vietnam's port system reached approximately 34,36 million TEU, about 11% higher than the 2024 level [42]. This growth intensifies requirements for the capacity, resilience, and manageability of container terminals.

A container terminal is a complex production and logistics system in which vessel flows, the berth front, quay cranes, internal transport, the container yard, the gate complex, and hinterland infrastructure function in interconnection. Disruption of synchronisation between subsystems leads to bottleneck formation and a reduction in overall terminal efficiency. In these conditions, static indicators – berth-front length, equipment count, or design capacity – do not fully capture actual operational efficiency. Field studies of Vietnamese container terminals show that cargo-handling equipment is frequently operated below design levels due to operational constraints and subsystem misalignment [30].

Analysing such systems requires a tool capable of accounting for the dynamics of technological operations, stochastic flows, resource constraints, and the impact of dispatching rules. Simulation modelling meets these requirements: the discrete-event approach enables description of the operation sequence at the micro-level, agent-based modelling captures the behaviour of transport process participants, and system dynamics reflects long-term capacity development and feedback loops. The objective of this paper is to systematise approaches to simulation modelling of container terminals, assess their applicability to Vietnam conditions, and develop a modular DES framework for subsequent applied research.

Literature Review by Research Direction

Foundational review works have established the standard classification of container terminal subsystems. Steenken, Voß, and Stahlbock [36] proposed a systematisation of terminal operational processes across the following subsystems: berth front, quay cranes, internal transport, container yard, and gate complex, demonstrating that terminal efficiency is determined by subsystem coordination rather than the aggregate capacities of individual elements. Stahlbock and Voß [35] highlight the trend toward integrated methods rather than local optimisation problem formulations. Angeloudis and Bell [12] reveal the particular role of simulation modelling in stochastic systems with a large number of random factors. Dragović, Tzannatos, and Park [20] systematise port simulation research across application areas, model scales, and software tools used. Carlo, Vis, and Roodbergen [16] establish the interrelationship between quay cranes, internal transport vehicles, and the yard. A key methodological principle emerging from these works is that the level of model detail must correspond to the research question: analysing handling equipment performance requires high granularity at the container and equipment unit level, while capacity planning tasks require representation of demand–investment–throughput relationships.

DES is the most widely used method for container terminal modelling. Yun and Choi [40] developed an object-oriented model in which the gate complex, yard, quay crane, transtainer, and internal tractor are represented as interacting objects. Shabayek and Yeung [34] modelled the Kwai Chung terminal (Hong Kong) under high-intensity operating conditions. Carteni and de Luca [17] applied DES for tactical and strategic planning, demonstrating the necessity of matching model detail level to the nature of managerial decisions. Mayorov, Kirichenko, and Fetisov [6] investigated container terminal states using a transport model and simulation, illustrating the characteristic tendency of the Russian research school to closely link DES with the technological structure of the terminal.

Research on the berth front and cargo-handling fronts focuses on identifying primary terminal bottlenecks. Legato and Mazza [24] applied DES to berth planning and resource optimisation. Canonaco et al. [15] constructed a queuing network model for quay crane management. Wang et al. [39] assessed the impact of the container inspection zone at Dalian Port, showing that auxiliary functional areas can substantially affect the primary cargo-handling flow. Kuznetsov, Galin, and Popov [3] developed a DES model of cargo-handling fronts at a container terminal, examining transshipment operations within the technological structure of the port and emphasising interrelationships between the cargo front, equipment, and transport flows. A common limitation of this research group is that models describing the berth front in isolation, without linkage to internal transport and the yard, tend to overestimate efficiency, since quay crane productivity depends heavily on yard throughput and vehicle availability.

Research on the yard and gate complex reveals the mechanisms of bottleneck formation within the terminal. Petering [29] analyses the influence of block width and yard layout on terminal efficiency. Zhao and Goodchild [41] demonstrate that information on truck arrival times can substantially reduce the number of container reshuffles. Guldogan [22] analyses slot-assignment strategies for containers arriving by sea. Li et al. [25] provide a comprehensive assessment of the operational, economic, and environmental efficiency of an automated terminal. Bett, Macharis, and Meers [13] developed a simulation-based optimisation model for a truck appointment system (TAS). Malikova and Petrova [7] proposed a simulation model of the pre-stacking operation at a seaport container terminal, supplementing the research toolkit with an instrument for analysing the impact of pre-movement operations on reshuffle counts and yard crane productivity.

The research direction concerned with terminal and hinterland transport infrastructure integration extends the scope of analysis beyond the terminal itself. Korol and Balalayev [2] modelled the railway station–seaport system using the Vladivostok transport hub as a case study. Rakhmangulov and Muravyov [10] evaluated development directions for seaport–dry port systems using simulation modelling. For Vietnam, this direction is particularly relevant, since bottlenecks frequently form at the gate complex, road approaches, and imbalance of import and export container flows, rather than being confined to the berth front.

Table 1. Systematisation of research directions

Research Direction	Representative Works	Methodological Contribution	Limitations for Vietnam Application
Review and classification studies	Steenken [36]; Angeloudis [12]; Dragović [20]	Standard subsystem classification; rationale for simulation in stochastic systems	Provide conceptual framework; do not address limited data availability

Research Direction	Representative Works	Methodological Contribution	Limitations for Vietnam Application
DES – terminal operations modelling	Yun & Choi [40]; Shabayek [34]; Mayorov [6]	Modelling container and vehicle flow dynamics; measuring waiting times and throughput	Require micro-data: operational logs, service-time distributions, dispatching rules
Berth, quay cranes, cargo fronts	Legato [24]; Canonaco [15]; Kuznetsov [3]	Modelling cargo-handling fronts, crane allocation, vessel service performance	Isolated modelling without yard/transport linkage misses cascading bottlenecks
Yard, pre-stacking, gate complex	Petering [29]; Zhao [41]; Malikova [7]; Bett [13]	Yard layout, slot assignment, reshuffles, pre-moves, TAS optimisation	Require detailed container position data, pickup schedules, truck behaviour
Port–railway–dry port	Korol [2]; Rakhmangulov [10]	Extending model from terminal level to hinterland logistics network	Require transport-network data, cargo flows, ICDs, empty-container depots
ABM, SD, queuing theory, hybrid	Henesey [23]; Cheng [18]; Lempert [5]; Shevchenko [11]	Agent behaviour, long-run feedback loops, service structures, hybrid approaches	Hard to verify without agent-behaviour data; risk of over-complication

Research on Container Terminal Operations in the Context of Vietnam

In general, research dedicated to Vietnamese seaports and container terminals can be divided into several methodological directions: assessment of equipment performance and terminal operational efficiency, forecasting of operational parameters, container terminal selection, analysis of berth front operating conditions, and support of design decisions. A field study of cargo-handling equipment efficiency across 14 Vietnamese container terminals showed that equipment in many cases operates below design levels, forming an important empirical basis for parameterising simulation models [30]. Individual studies confirm the applicability of simulation modelling to container terminal design in Vietnam [19] and to assessment of operational conditions affecting berth occupancy rate selection [27]. However, studies based on DEA, OEE, MCDM, and machine-learning methods primarily provide static or predictive assessments of individual aspects of port system functioning: enterprise efficiency, terminal competitiveness, vessel berthing time, and equipment characteristics [28, 30, 32, 33]. Their results are significant for setting input parameters and verifying individual DES model modules, but have not yet been unified into a comprehensive multi-level simulation model capable of describing the interaction dynamics of the berth front, cargo-handling equipment, container yard, gate complex, and hinterland infrastructure. A systematisation of these studies, their methods, contributions, and unresolved issues is presented in Table 2.

Table 2. Vietnam-focused studies: methods, contributions, and unresolved issues

Authors	Subject / Port	Method	Contribution to Vietnam Modelling	Unresolved Issues
Nguyen Duc Manh & Nguyen Minh Quy [27]	Berth occupancy rate	Simulation + queuing theory	Justification of operational conditions and occupancy rate role	Limited to berth level; yard, gate, hinterland not covered
Pham & Nguyen [30]	OEE of equipment at 14 terminals	Field study + OEE	Real equipment performance data – key DES input parameter	Static indicator; system dynamics and cascading bottleneck propagation not described
Pham et al. [32]	6 major terminals: Tan Vu, HICT, Cat Lai, TCIT, SSIT, CMIT	Fuzzy MCDM + cumulative prospect theory	Comparative terminal-choice assessment – basis for selecting terminal-level performance indicators	Static method; operational dynamics not captured
Pham & Nguyen [33]	Cat Lai Port (VNSGN)	Machine learning (random forest), $R^2=0.84$	Berthing time prediction – direct input for vessel–berth module in DES	Limited to berth level; not integrated into comprehensive terminal model
Nguyen et al. [28]	Stevedoring companies in Vietnam	DEA – business performance evaluation	Overview of relative port system efficiency – strategic context	Subsystem bottlenecks not identified; operational dynamics not described

Analysis of the body of Vietnamese research identifies three structural characteristics. First, a significant data base has been formed: OEE indicators for 14 terminals [30], comparative assessment of terminal-choice and operational-efficiency criteria for six major terminals [32], and operational data for Cat Lai Port [33] – this data set constitutes an information resource for prospective DES models. Second, static analytical methods (OEE, DEA, MCDM) and predictive approaches (machine learning) have reached a significant methodological level but have not been integrated with dynamic simulation modelling. Third, the research gap lies not in a total shortage of data but in the absence of an integration framework and multi-level simulation model capable of unifying disparate data into a unified tool for analysing system dynamics. OEE indicators [30] can serve as input parameters for the crane module of a DES; predicted berthing times [33] can provide a realistic incoming vessel schedule; comparative terminal data [32] can be used for model verification.

Experimental Results: DES Model of the Phuoc Long Logistics Centre

The DES model of the Phuoc Long logistics centre was developed by the author of this paper as part of a study on the formation of Vietnam's transport and logistics system [9], as an element of an integrated four-stage methodological approach. The model reproduces four key groups of operations: (a) loading and unloading operations with seagoing vessels via a gantry crane; (b) container transport between the berth front and the terminal by truck tractors; (c) container handling within the terminal by forklifts; (d) assessment of the impact of vehicle count on container handling throughput. Containers and vehicles are described through chains

of events: entry into the system, resource waiting, service, movement, and departure from the operational segment.

Sensitivity analysis results: the dependence of handling throughput on vehicle count is distinctly non-linear. When the number of truck tractors increases from 7 to 10 units (with the number of forklifts held constant at 6), throughput rises from 163 to 206 TEU/hr. However, with a further increase from 12 to 14 tractors, the rate of growth declines, indicating a shift of the bottleneck to the forklift and yard crane subsystem. Practical conclusions: the saturation phenomenon and bottleneck migration between equipment types demonstrate that a strategy of increasing only one type of equipment yields diminishing returns. To achieve the target throughput of 260 TEU/hr, a simultaneous and balanced increase in both the tractor and forklift fleet is required – a conclusion of experimentally substantiated character that can be directly applied in investment decisions regarding the expansion of the Centre's capacity.

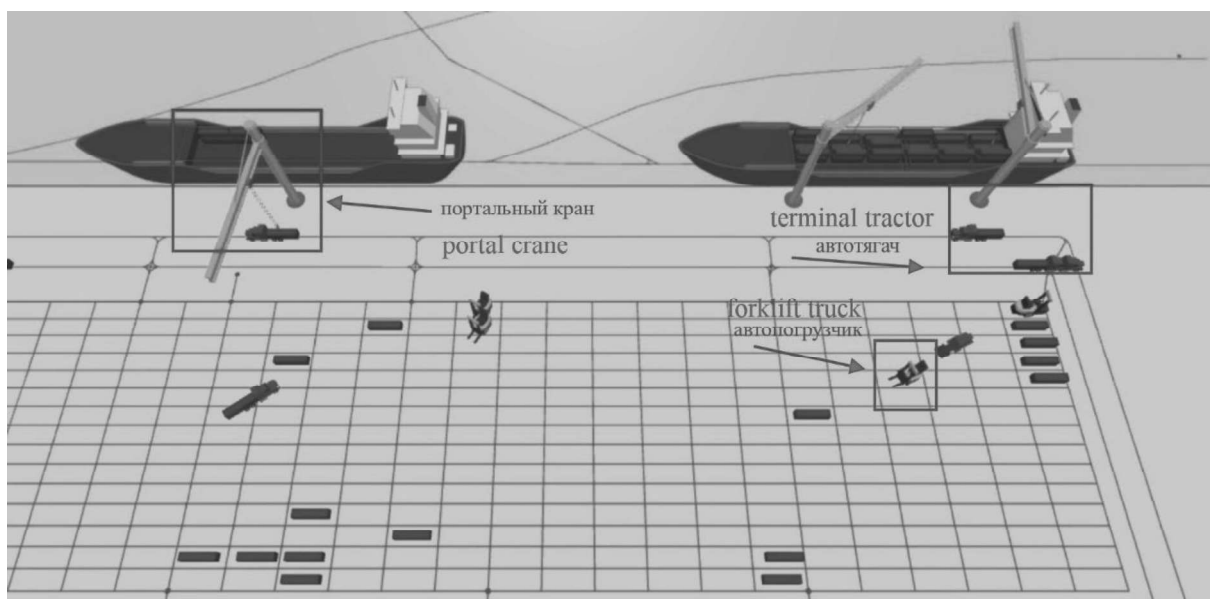


Fig. 1. DES model visualisation – vessel loading/unloading operations at Phuoc Long LC [9]

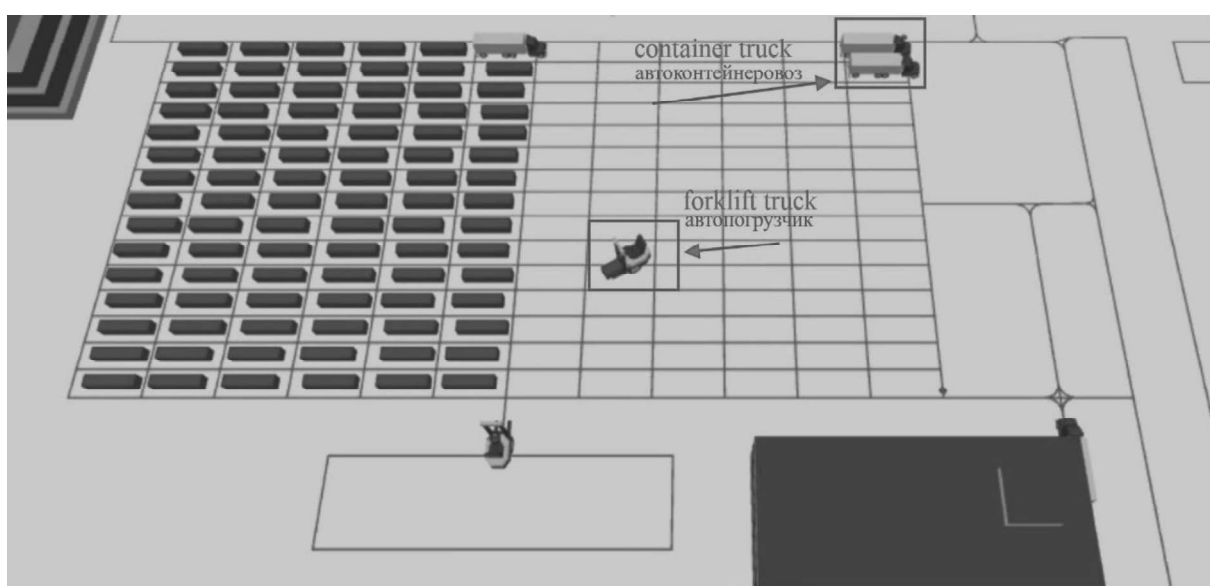


Fig. 2. DES model visualisation – container handling within the terminal [9]

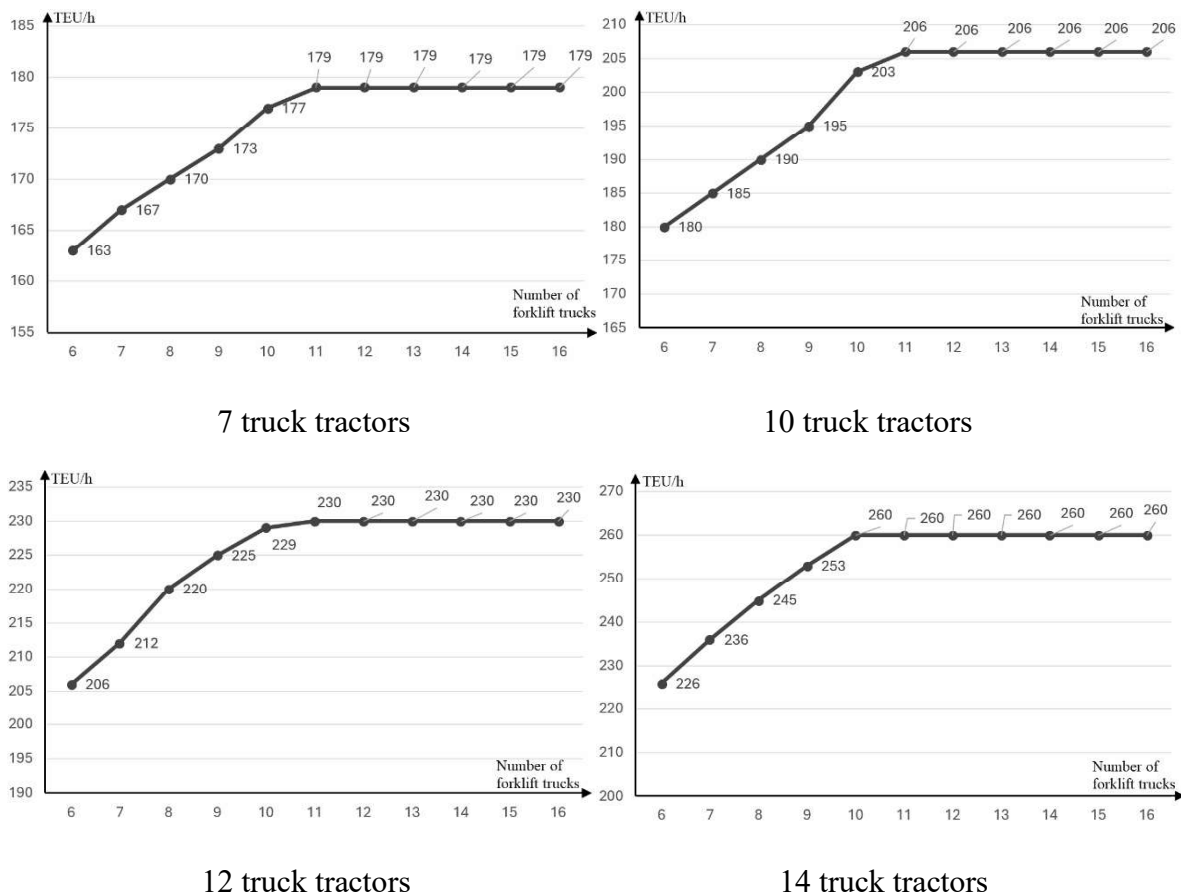


Fig. 3. Container handling throughput as a function of vehicle count [9]

The methodological value of these results extends beyond the specific quantitative indicators. The model demonstrates that DES can be preliminarily validated in the Vietnamese context by comparing simulated throughput with aggregated operational data from the terminal operator. It also shows that simulation experiments can partly reduce the need for labour-intensive micro-level data collection, since model outputs can be validated against known aggregate performance indicators.

Finally, resource-based scenario analysis can support investment decisions on capacity expansion, thereby transforming simulation modelling from a purely academic research method into a practical tool for managerial decision-making.

Directions for Developing Simulation Modelling of Container Terminals in the Context of Vietnam

Based on the review conducted and the research-gap analysis, this paper proposes the development of a modular DES model of a container terminal adapted to Vietnamese conditions.

AnyLogic is recommended as the modelling environment, providing joint implementation of DES, ABM, and SD within a single modelling platform, which allows flexible switching between levels of model detail and has been tested for tasks of a similar class [11]. Arena and Python SimPy may be considered as alternative solutions in the event of restriction to pure DES.

Table 3. Modular structure, input data, and proposed verification strategy

Module	Modelled Processes	Priority Input Data	Output Indicators	Verification Strategy
Vessel and berth	Vessel arrival, waiting, berth allocation, service time	Vessel call schedules (VMA, MRA); berthing time prediction [33]; distributions from [34, 40]	Vessel waiting time, berth occupancy rate, turnaround time	Compare calculated occupancy rate with Maritime Administration industry data
Quay cranes and cargo handling	Lift cycle, crane allocation, idle time	ZPMC/Liebherr technical specs; OEE data for quay crane group from [30]	Handling throughput, crane utilisation, vessel service time	Compare calculated crane throughput with international benchmarks (moves/hr)
Internal transport	Tractors/vehicles between berth and yard	Fleet size, speed, cycle time; transport OEE from [30]; adjusted by Phuoc Long LC results [9]	Equipment utilisation, waiting time at berth/yard, transport bottlenecks	Cross-verification with Phuoc Long LC model results 163→260 TEU/hr [9]
Container yard	Storage, retrieval, pre-stacking, reshuffles	Yard capacity (port technical docs); yard crane OEE from [30]; reshuffle norms [7, 29, 41]	Yard occupancy, reshuffle count, service time	Compare calculated yard occupancy with terminal design capacities from [32]
Gate complex and road transport	Truck arrival, waiting, processing, entry/exit	Lane count; processing time from [13]; flow intensities from Cat Lai/CMIT gate congestion data	Truck turnaround time, gate queue, gate utilisation	Compare calculated turnaround time with logistics company data
Hinterland infrastructure	Links with ICDs, empty container depots, road/water/rail transport	Vietnam Ministry of Transport regional transport schemes; Vietnam Seaport Association ICD statistics	Congestion beyond port gate, transport time, terminal impact	Stage 1: sensitivity analysis. Stage 2: verification using operator-partner data

The transition to hybrid modelling should be determined by the research question rather than a desire for model complexity. DES+ABM integration is appropriate when studying the behaviour of trucking companies, dispatchers, or shipping lines. DES+SD integration is justified when analysing long-term cargo throughput growth, capacity investments, or regional logistics network planning. In both cases, each integration level must be accompanied by a corresponding verification strategy.

Conclusion

The study has demonstrated that discrete-event simulation can be considered the most methodologically grounded core for analysing container terminal operations at the micro-level, as it enables accounting for the sequence of technological events, resource competition,

queuing, idle time, and the impact of dispatching decisions. Agent-based modelling and system dynamics are appropriate as supplementary levels of analysis: the former for capturing the behaviour of transport process participants, the latter for evaluating long-term capacity development and feedback loops in the transport and logistics system.

With respect to Vietnamese conditions, it has been established that the further development of simulation models is constrained not only by limited micro-level data but also by insufficient integration of already available empirical results into a unified dynamic model. The experimental illustration based on the DES model of the Phuoc Long logistics centre confirms the feasibility of applying the simulation approach to resource constraint analysis and bottleneck migration identification between subsystems. The scientific and practical contribution of the paper consists in the proposal of a modular DES framework for a container terminal in Vietnam's maritime transport and logistics system, which can serve as a methodological basis for subsequent applied research, contingent upon expanding the operational database, refining service-time distributions, and comparing model results with actual performance indicators of specific port facilities.

References

1. **Багинова В.В., Кузьмин Д.В.** Управление транспортными системами и логистической инфраструктурой: учебное пособие. М.: Прометей. 2020. С. 35–38. ISBN 978-5-00172-043-0.
2. **Король Р.Г., Балалаев А.С.** Имитационное моделирование системы «железнодорожная станция – морской порт» на примере Владивостокского транспортного узла // Вестник ГУМРФ имени адм. С.О. Макарова. 2015.
3. **Кузнецов А.Л., Галин А.В., Попов Г.Б.** Дискретно-событийное моделирование грузовых фронтов контейнерного терминала // Вестник ГУМРФ. 2023. 15(4). С. 589–602.
4. **Кузьмин Д.В., Багинова В.В., Краснобаев Д.А., Мусатов Д.В.** Разработка имитационной дискретно-событийной модели транспортной инфраструктуры с использованием инструментов оптимизации // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2023. 17(2). С. 42–48. <https://doi.org/10.36724/2072-8735-2023-17-2-42-48>.
5. **Лемперт А.А., Жарков М.Л., Казаков А.Л., Ву Х.З.** Моделирование морского контейнерного терминала с использованием сети массового обслуживания // Управление большими системами. 2024. 112. С. 310–337.
6. **Майоров Н.Н., Кириченко А.В., Фетисов В.А.** Исследование состояний контейнерного терминала на основе транспортной модели и имитационного моделирования // Вестник ГУМРФ. 2026. 7(3), 7–15.
7. **Маликова Т.Е., Петрова Е.Е.** Имитационная модель престакинга на контейнерном терминале морского порта // Вестник ГУМРФ. 2024. 16(3). С. 379–390. <https://doi.org/10.21821/2309-5180-2024-16-3-379-390>.
8. **Нгуен М.Т., Багинов А.В.** (2023). Применение имитационного моделирования в организации и развитии логистических центров Вьетнама // Вестник РГУПС. 2023. 1. С. 95–102.
9. **Нгуен, М.Т., Багинов, А.В.** Формирование транспортно-логистической системы Вьетнама в современных условиях // Современные наукоёмкие технологии. Региональное приложение. 2024. 14(2). С. 21–24. <https://doi.org/10.18503/SMTS-2024-14-2-14-24>.
10. **Рахмангулов, А.Н., Муравьев, Д.С.** Оценка направлений развития систем «морской порт – сухой порт» методом имитационного моделирования // Вестник УрГУПС. 2016. 3(31). С. 54–72. <https://doi.org/10.20291/2079-0392-2016-3-54-72>

11. **Шевченко, А.М., Дыда, А.А.** (2024). Анализ реализации агентного подхода и особенности имитационного моделирования морского порта в AnyLogic // *Computational Nanotechnology*. 2024. 11(1). С. 127–134.
12. **Angeloudis, P., & Bell, M.G.H.** (2011). A review of container terminal simulation models. *Maritime Policy & Management*, 38(5), 523–540. <https://doi.org/10.1080/03088839.2011.597448>.
13. **Bett, K., Macharis, C., & Meers, D.** (2024). Simulation-Based Optimization of Truck Appointment Systems. *Logistics*, 8(3), 80. <https://doi.org/10.3390/logistics8030080>
14. **Bielli, M., Boulmakoul, A., & Rida, M.** (2006). Object oriented model for container terminal distributed simulation. *European Journal of Operational Research*, 175(3), 1731–1751.
15. **Canonaco, P., Legato, P., Mazza, R.M., & Musmanno, R.** (2008). A queuing network model for berth crane operations. *Computers & Operations Research*, 35(8), 2432–2446. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2006.12.001>.
16. **Carlo, H.J., Vis, I.F.A., & Roodbergen, K.J.** (2014). Transport operations in container terminals: Literature overview, trends, research directions and classification scheme. *European Journal of Operational Research*, 236(1), 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.11.023>.
17. **Carteni, A., & de Luca, S.** (2012). Tactical and strategic planning for a container terminal: Modelling issues within a discrete event simulation approach. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 21(1), 123–145. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2011.10.005>
18. **Cheng, T.C.E., Tahar, R.M., & Ang, C.L.** (2011). A system dynamics approach to container terminal planning. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 10(4), 420–434. <https://doi.org/10.1504/IJLSM.2011.043103>.
19. **Choi, Y.S., Ha, T.Y., Kim, W.S., & Choi, S.H.** (2006). A Case Study on the Design of Container Terminal in Vietnam. *Journal of Navigation and Port Research*, 30(7), 591–597. <https://doi.org/10.5394/KINPR.2006.30.7.591>.
20. **Dragović, B., Tzannatos, E., & Park, N.K.** (2017). Simulation modelling in ports and container terminals: literature overview and analysis by research field, application area and tool. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 29(1), 4–34. <https://doi.org/10.1007/s10696-016-9239-5>.
21. **Fransen, R.W., & Davydenko, I.Y.** (2021). Empirical agent-based model simulation for the port nautical services: A case study for the Port of Rotterdam. *Maritime Transport Research*, 2, 100040. <https://doi.org/10.1016/j.martra.2021.100040>.
22. **Guldogan, E.U.** (2011). Simulation-based analysis for hierarchical storage assignment policies. *Simulation*, 87(6), 523–537. <https://doi.org/10.1177/0037549710369812>
23. **Henesey, L., Davidsson, P., & Persson, J.A.** (2009). Agent based simulation architecture for container terminal policy evaluation. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 18, 220–238. <https://doi.org/10.1007/s10458-008-9044-y>.
24. **Legato, P., & Mazza, R.M.** (2001). Berth planning and resources optimisation at a container terminal via discrete event simulation. *European Journal of Operational Research*, 133(3), 537–547. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(00\)00200-9](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(00)00200-9).
25. **Li, X., Peng, Y., Huang, J., Wang, W., & Song, X.** (2021). Simulation study on terminal layout in automated container terminals from efficiency, economic and environment perspectives. *Ocean & Coastal Management*, 213, 105882. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105882>.
26. **Lin, H., Zeng, W., Luo, J., & Nan, G.** (2022). An analysis of port congestion alleviation strategy based on system dynamics. *Ocean & Coastal Management*, 229, 106336. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2022.106336>.

27. **Nguyen Minh Quy, & Nguyen Duc Manh.** (2025). Evaluation of Port Operation Conditions Influencing the Selection of Berth Occupancy Rate. *Journal of Science and Technology in Civil Engineering*. [https://doi.org/10.31814/stce.huce2025-19\(3\)-06](https://doi.org/10.31814/stce.huce2025-19(3)-06).
28. **Nguyen, Q.N., Pham, V.P., Dinh, V.D., & Ha, B.D.** (2024). Evaluating the Business Performance of Seaport Enterprises in Vietnam. *Sustainability*, 16(19), 8576. <https://doi.org/10.3390/su16198576>.
29. **Petering, M.E.H.** (2009). Effect of block width and storage yard layout on marine container terminal performance. *Transportation Research Part E*, 45(4), 591–610.
30. **Pham, H.T., & Nguyen, L.H.** (2022). Empirical Performance Measurement of Cargo Handling Equipment in Vietnam Container Terminals. *Logistics*, 6(3), 44. <https://doi.org/10.3390/logistics6030044>.
31. **Pham, H.T., Nguyen, L.H., Le, N.T., & Truong, N.C.** (2022). An Investigation of Cargo Handling Equipment Performance in Vietnam Container Terminals. In: *Proceedings of the 4th International Conference on Sustainability in Civil Engineering (ICSCE 2022)*, pp. 757–762. https://doi.org/10.1007/978-981-99-2345-8_78.
32. **Pham, T.Y., Truong, N.C., Nguyen, P.H., & Kim, H.S.** (2024). The fuzzy MCDM for container terminal choice in Vietnam from shipping lines' perspective based on cumulative prospect theory. *Asian Journal of Shipping and Logistics*, 40, 147–156. <https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2024.06.003>.
33. **Pham, T.Y., & Nguyen, P.N.** (2025). A Data-Driven framework for predicting ship berthing time and optimizing port operations at Tan Cang Cat Lai Port, Vietnam. *Case Studies on Transport Policy*. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2025.101441>.
34. **Shabayek, A.A., & Yeung, W.W.** (2002). A simulation model for the Kwai Chung container terminals in Hong Kong. *European Journal of Operational Research*, 140(1), 1–11. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(01\)00216-8](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(01)00216-8).
35. **Stahlbock, R., & Voß, S.** (2008). Operations research at container terminals: A literature update. *OR Spectrum*, 30, 1–52. <https://doi.org/10.1007/s00291-007-0100-9>.
36. **Steenken, D., Voß, S., & Stahlbock, R.** (2004). Container terminal operation and operations research. *OR Spectrum*, 26, 3–49. <https://doi.org/10.1007/s00291-003-0157-z>.
37. **Sun, Z., Tan, K.C., Lee, L.H., & Chew, E.P.** (2013). Design and evaluation of mega container terminal configurations. *Simulation*, 89(6), 684–692. <https://doi.org/10.1177/0037549712475097>.
38. **Tahar, R.M., & Hussain, K.** (2000). Simulation and analysis for the Kelang Container Terminal operations. *Logistics Information Management*, 13(1), 14–20. <https://doi.org/10.1108/09576050010306350>.
39. **Wang, W., Zhou, Y., Song, X., Tang, G., & Fang, Z.** (2017). Operational impact estimation of container inspections at Dalian Port: the application of simulation. *Simulation*, 93(7), 619–629. <https://doi.org/10.1177/0037549716680455>.
40. **Yun, W.Y., & Choi, Y.S.** (1999). A simulation model for container-terminal operation analysis using an object-oriented approach. *International Journal of Production Economics*, 59(1–3), 221–230.
41. **Zhao, W., & Goodchild, A.V.** (2010). The impact of truck arrival information on container terminal rehandling. *Transportation Research Part E*, 46(3), 327–343. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2009.11.007>.
42. **Отчет о логистике Вьетнама 2025 [Электронный ресурс] : Министерство промышленности и торговли Вьетнама. – Ханой: Изд-во «Промышленность и торговля», 2025. – Режим доступа: <https://daotaocq.gdnn.gov.vn/wp-content/uploads/2025/06/4.-BC-Logistics-Viet-Nam-2022-Bo-CT.pdf>.**

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПЕРАЦИЙ КОНТЕЙНЕРНЫХ ТЕРМИНАЛОВ В МОРСКОЙ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ВЬЕТНАМА: ОБЗОР ПОДХОДОВ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ

**Нгуен Минь Тьен (Хошимин, Вьетнам), В.В. Багинова (Москва),
Нгуен Ван Хунг (Ханой, Вьетнам)**

Введение

Морские порты являются ключевым элементом национальной транспортной системы и глобальных цепочек поставок. Для Вьетнама, расположенного на пересечении важных международных судоходных маршрутов и существенно зависящего от внешней торговли, портовая инфраструктура играет важную роль не только в перевалке грузов, но и в интеграции производственных, распределительных и логистических процессов с мировыми рынками. По данным отраслевой статистики, в 2025 г. контейнерооборот портовой системы Вьетнама составил около 34,36 млн TEU, что примерно на 15% выше уровня 2024 г. [42]. Данный рост усиливает требования к пропускной способности, устойчивости и управляемости контейнерных терминалов.

Контейнерный терминал представляет собой сложную производственно-логистическую систему, в которой судопоток, причальный фронт, судовые краны, внутрипортовый транспорт, контейнерный склад, воротный комплекс и тыловая инфраструктура функционируют во взаимосвязи. Нарушение синхронизации между подсистемами приводит к формированию «узких мест» и снижению общей эффективности терминала. В этих условиях статические показатели – длина причального фронта, количество оборудования или проектная мощность – не позволяют в полной мере оценить фактическую операционную эффективность. Полевые исследования контейнерных терминалов Вьетнама показывают, что грузоподъемное оборудование нередко используется ниже проектного уровня вследствие ограничений эксплуатации и несогласованности подсистем [1].

Для анализа таких систем необходим инструмент, способный учитывать динамику технологических операций, стохастичность потоков, ресурсные ограничения и влияние правил диспетчеризации. Этим требованиям отвечает имитационное моделирование: дискретно-событийный подход позволяет описывать последовательность операций на микроуровне, агентное моделирование – поведение участников перевозочного процесса, а системная динамика – долгосрочное развитие мощностей и обратные связи. Цель настоящей статьи состоит в систематизации подходов к имитационному моделированию контейнерных терминалов, оценке их применимости к условиям Вьетнама и разработке модульного DES-каркаса для последующих прикладных исследований.

Обзор исследований по направлениям

Фундаментальные обзорные работы сформировали стандартную классификацию подсистем контейнерного терминала. Штинкен, Фосс и Шталбок [36] предложили систематизацию операционных процессов терминала по следующим подсистемам: причальный фронт, судовые краны, внутрипортовый транспорт, контейнерный склад и воротный комплекс, обосновав, что эффективность терминала определяется координацией подсистем, а не суммарными мощностями их отдельных элементов. Шталбок и Фосс [35] акцентируют внимание на тенденции перехода от постановки локальных задач оптимизации к интегрированным методам. Ангелудис и Белл [12] раскрывают особую роль имитационного моделирования в условиях стохастических систем со значительным числом случайных факторов. Драгович, Тзаннатос и Парк [20] систематизируют исследования

по имитационному моделированию портов в разрезе прикладных областей, масштабов моделей и используемых программных инструментов. Карло, Вис и Рудберген [16] обосновывают взаимосвязь между судовыми кранами, внутрипортовыми транспортными средствами и складом. Из указанных работ следует ключевой методологический принцип: уровень детализации модели должен соответствовать поставленному исследовательскому вопросу – анализ производительности перегрузочного оборудования предполагает высокую степень детализации на уровне контейнера и единицы техники, тогда как задачи планирования мощностей требуют отражения взаимосвязей «спрос – инвестиции – пропускная способность».

DES является наиболее распространённым методом моделирования контейнерных терминалов. Юн и Чой [40] разработали объектно-ориентированную модель, в которой воротный комплекс, склад, судовой кран, перегрузатель и внутрипортовый тягач представлены в виде взаимодействующих объектов. Шабайек и Юнг [34] моделировали работу терминала Квай Чунг (Гонконг) в условиях высокой интенсивности эксплуатации. Картени и де Лука [17] применяли DES для тактического и стратегического планирования, обосновав необходимость соответствия уровня детализации модели характеру принимаемых управленческих решений. Майоров, Кириченко и Фетисов [6] исследовали состояния контейнерного терминала на основе транспортной модели и имитационного моделирования, демонстрируя характерную для российской научной школы тенденцию к тесной увязке DES с технологической структурой терминала.

Исследования причального фронта и грузовых фронтов сосредоточены на идентификации первичных «узких мест» терминала. Легато и Мацца [24] применяли DES для решения задачи планирования причальных операций и оптимизации ресурсов. Каноначо и соавт. [15] построили сетевую модель массового обслуживания для управления судовыми кранами. Ван и соавт. [39] оценили влияние зоны контроля контейнеров в порту Далянь, показав, что вспомогательные функциональные зоны способны существенно воздействовать на основной перегрузочный поток. Кузнецов, Галин и Попов [3] разработали DES-модель грузовых фронтов контейнерного терминала, рассматривая перегрузочные операции в технологической структуре порта и акцентируя взаимосвязи между грузовым фронтом, оборудованием и транспортными потоками. Общее ограничение данной группы работ состоит в том, что модели, изолированно описывающие причальный фронт без связи с внутрипортовым транспортом и складом, склонны к завышению оценок эффективности, поскольку производительность судовых кранов существенно зависит от пропускной способности склада и наличия транспортных средств.

Исследования склада и воротного комплекса раскрывают механизмы формирования «узких мест» внутри терминала. Питеринг [29] анализирует влияние ширины блока и планировочной структуры склада на эффективность терминала. Чжао и Гудчайлд [41] демонстрируют, что информированность о времени прибытия автотранспорта позволяет существенно сократить число переключений контейнеров. Гулдоган [22] анализирует стратегии распределения мест хранения для контейнеров, прибывающих морским путём. Ли и соавт. [25] проводят комплексную оценку операционной, экономической и экологической эффективности автоматизированного терминала. Бетт, Мачарис и Мирс [13] разработали модель оптимизации на основе имитационного моделирования для системы предварительного бронирования времени въезда автотранспорта (TAS). Маликова и Петрова [7] предложили имитационную модель операции престакинга на контейнерном терминале морского порта, дополнив исследовательский арсенал инструментом анализа влияния операций предварительного перемещения контейнеров на число переключений и производительность складских кранов.

Направление, связанное с интеграцией терминала и тыловой транспортной инфраструктуры, расширяет границы анализа за пределы самого терминала. Король и Балалаев [2] моделировали систему «железнодорожная станция – морской порт» на примере Владивостокского транспортного узла. Рахмангулов и Муравьев [10] оценивали направления развития системы «морской порт – сухой порт» методами имитационного моделирования. Для Вьетнама данное направление приобретает особую актуальность, поскольку «узкие места» нередко формируются на уровне воротного комплекса, автодорожных подходов и дисбаланса импортного и экспортного контейнеропотоков, а не ограничиваются причальным фронтом.

Таблица 1

Систематизация исследовательских направлений

Направление	Представительные работы	Методологический вклад	Ограничения при применении в условиях Вьетнама
Обзорные и классификационные работы	Steenken [36]; Angeloudis [12]; Dragović [20]	Стандартная классификация подсистем; обоснование роли моделирования в стохастических системах	Предоставляют концептуальный каркас; не решают задачи ограниченной информационной базы
DES – моделирование операций терминала	Yun & Choi [40]; Shabayek [34]; Майоров [6]	Описание динамики контейнеро- и транспортных потоков; измерение времени ожидания и производительности	Требуют микроданных: операционных журналов, показателей времени обслуживания, правил диспетчеризации
Причальный фронт, судовые краны, грузовые фронты	Legato [24]; Canonaco [15]; Кузнецов [3]	Моделирование перегрузочных фронтов, распределения кранов, производительности обслуживания судов	Изолированное моделирование без связи со складом и транспортом не отражает каскадные «узкие места»
Склад, престакинг, воротный комплекс	Petering [29]; Zhao [41]; Маликова [7]; Bett [13]	Планировка склада, распределение мест хранения, перекладки, предварительное перемещение, система TAS	Требуют детальных данных о местоположении контейнеров, расписании вывоза, поведении автотранспорта
Порт – железная дорога – сухой порт	Король [2]; Рахмангулов [10]	Расширение модели с уровня терминала до логистической сети тыловой инфраструктуры	Требуют данных о транспортной сети, грузопотоках, ИТК, депо порожних контейнеров
ABM, SD, теория МО, гибридное	Henesey [23]; Cheng [18]; Lempert [5]; Шевченко [11]	Поведение агентов, долгосрочные обратные связи, структуры обслуживания, гибридные подходы	Сложно верифицировать при отсутствии данных о поведении агентов; риск избыточного усложнения модели

Исследования в области функционирования контейнерных терминалов применительно к условиям Вьетнама

В целом исследования, посвящённые морским портам и контейнерным терминалам Вьетнама, можно разделить на несколько методологических направлений: оценку производительности оборудования и операционной эффективности терминалов, прогнозирование эксплуатационных параметров, выбор контейнерного терминала, анализ условий работы причального фронта и поддержку проектных решений. Полевое исследование эффективности грузоподъёмного оборудования на 14 контейнерных терминалах Вьетнама показало, что оборудование во многих случаях используется ниже проектных возможностей, что формирует важную эмпирическую основу для параметризации имитационных моделей [30]. Отдельные работы подтверждают применимость имитационного моделирования к проектированию контейнерных терминалов во Вьетнаме [19], а также к оценке эксплуатационных условий, влияющих на выбор коэффициента занятости причала [27]. Вместе с тем исследования, основанные на DEA, OEE, MCDM и методах машинного обучения, преимущественно дают статическую или прогнозную оценку отдельных аспектов функционирования портовой системы: эффективности предприятий, конкурентоспособности терминалов, времени постановки судна к причалу и характеристик оборудования [28, 30, 32, 33]. Их результаты представляют значимость для задания входных параметров и верификации отдельных модулей DES-моделей, однако пока не объединены в целостную многоуровневую имитационную модель, способную описывать динамику взаимодействия причального фронта, перегрузочного оборудования, контейнерного склада, воротного комплекса и тыловой инфраструктуры. Систематизация указанных исследований, их методов, вклада и нерешённых задач представлена в таблице 2.

Таблица 2

Исследования, выполненные применительно к условиям Вьетнама:
методы, вклад и нерешённые задачи

Авторы	Объект / Порт	Метод	Вклад для моделирования Вьетнама	Нерешённые задачи
Nguyen Minh Quy [27]	Коэффициент занятости причала	Имитационное моделирование + теория МО	Обоснование роли эксплуатационных условий и коэффициента занятости	Ограничено уровнем причального фронта; склад, ворота, тыл не охвачены
Pham & Nguyen [30]	OEE оборудования на 14 терм.	Полевое исследование + OEE	Реальные данные о производительности оборудования – ключевой входной параметр для DES	Статический показатель; системная динамика и каскадное распротр. «уз. мест» не описаны
Pham et al. [32]	6 крупных терминалов: Tan Vu, HICT, Cat Lai, TCIT, SSIT, CMIT	Нечёткий MCDM + теория кумулятивных перспектив	Сравнительный анализ мощностей терминалов – основа для калибровки модели	Статический метод; динамика операций не отражена

Авторы	Объект / Порт	Метод	Вклад для моделирования Вьетнама	Нерешённые задачи
Pham & Nguyen [33]	Порт Кат Лай (VNSGN)	Машинное обучение (случайный лес), $R^2=0,84$	Прогноз времени постановки к причалу – прямой входной параметр модуля «судно – причал» в DES	Ограничено уровнем причального фронта; не интегрировано в комплексную модель терминала
Nguyen et al. [28]	Стивидорные компании Вьетнама	DEA – оценка хозяйственной деятельности	Картина относительной эффективности портовой системы – стратегический контекст	«Узкие места» по подсистемам не идентифицируются; динамика операций не описывается

Анализ совокупности вьетнамских исследований позволяет выделить три структурные особенности.

Во-первых, сформирована значимая база данных: показатели ОЕЕ по 14 терминалам [30], сравнительный анализ мощностей шести крупных терминалов [32] и операционные данные по порту Кат Лай [33] – именно этот массив представляет собой информационный ресурс для перспективных DES-моделей.

Во-вторых, статические аналитические методы (ОЕЕ, DEA, MCDM) и прогностические подходы (машинное обучение) достигли значительного методологического уровня, однако не интегрированы с динамическим имитационным моделированием.

В-третьих, исследовательский пробел состоит не в тотальной нехватке данных, а в отсутствии интеграционного каркаса и многоуровневой имитационной модели, способной объединить разрозненные данные в единый инструмент анализа системной динамики. Показатели ОЕЕ [30] могут служить входными параметрами для кранового модуля DES; прогнозные данные о времени постановки к причалу [33] – обеспечить реалистичное расписание входящего судопотока; сравнительные данные по терминалам [32] – использоваться для верификации модели.

Экспериментальные результаты: DES-модель логистического центра Фюок Лонг

DES-модель логистического центра Фюок Лонг разработана автором настоящей статьи в рамках исследования формирования транспортно-логистической системы Вьетнама [9] как элемент интегрированного четырёхэтапного методологического подхода. Модель воспроизводит четыре ключевые группы операций: **(а)** погрузочно-разгрузочные работы с морскими судами посредством портального крана; **(б)** транспортировку контейнеров между причальным фронтом и терминалом автотягачами; **(в)** обработку контейнеров на территории терминала погрузчиками; **(г)** оценку влияния численности транспортных средств на интенсивность обработки контейнеров. Контейнеры и транспортные средства описываются через цепочки событий: поступление в систему, ожидание ресурса, обслуживание, перемещение и выход из операционного сегмента.

По результатам анализа чувствительности: зависимость интенсивности обработки от числа транспортных средств носит ярко выраженный нелинейный характер. При увеличении числа автотягачей с 7 до 10 единиц (при неизменном числе погрузчиков – 6) интенсивность возрастает с 163 до 206 TEU/ч. Однако при дальнейшем

увеличении с 12 до 14 тягачей темп прироста снижается, что свидетельствует о перемещении «узкого места» в звено погрузчиков и складских кранов.

Практические выводы: явление насыщения и перемещения «узкого места» между видами техники доказывает, что стратегия наращивания только одного вида оборудования даёт убывающий эффект. Для достижения целевого показателя 260 TEU/ч необходимо одновременное и сбалансированное увеличение парка как автотягачей, так и погрузчиков – данный вывод имеет экспериментально обоснованный характер и может непосредственно применяться при принятии инвестиционных решений о расширении мощностей Центра.

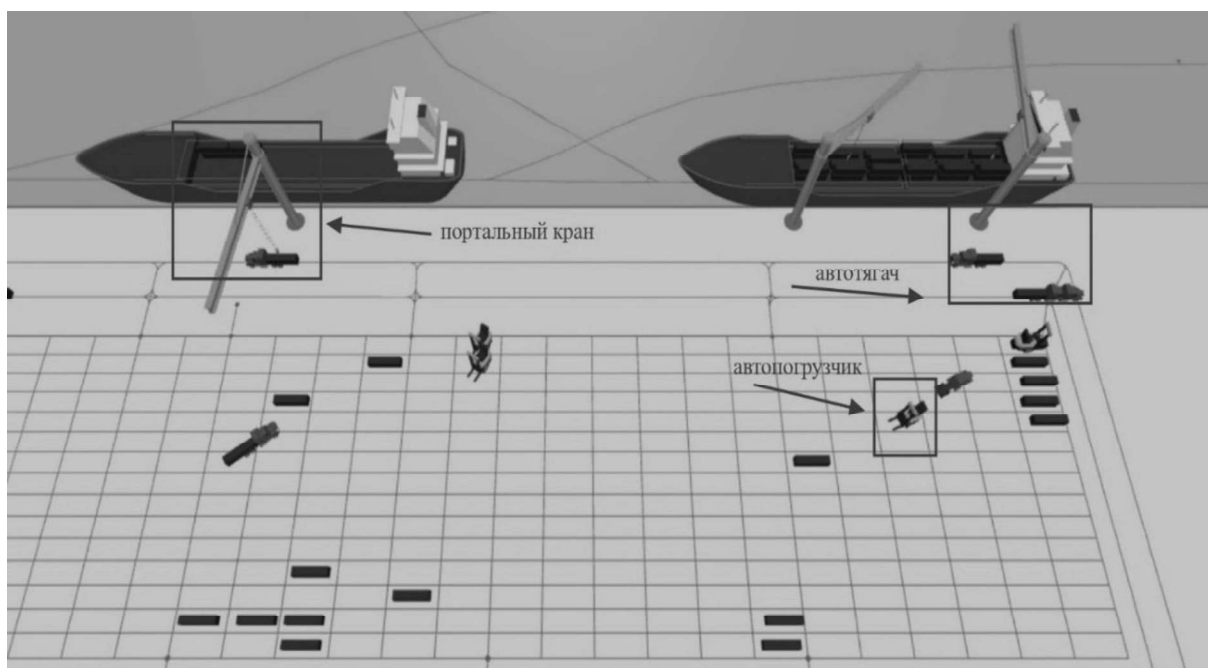


Рис. 1. Визуализация DES-модели – погрузочно-разгрузочные работы с морским судном в ЛЦ Фьюк Лонг [9]

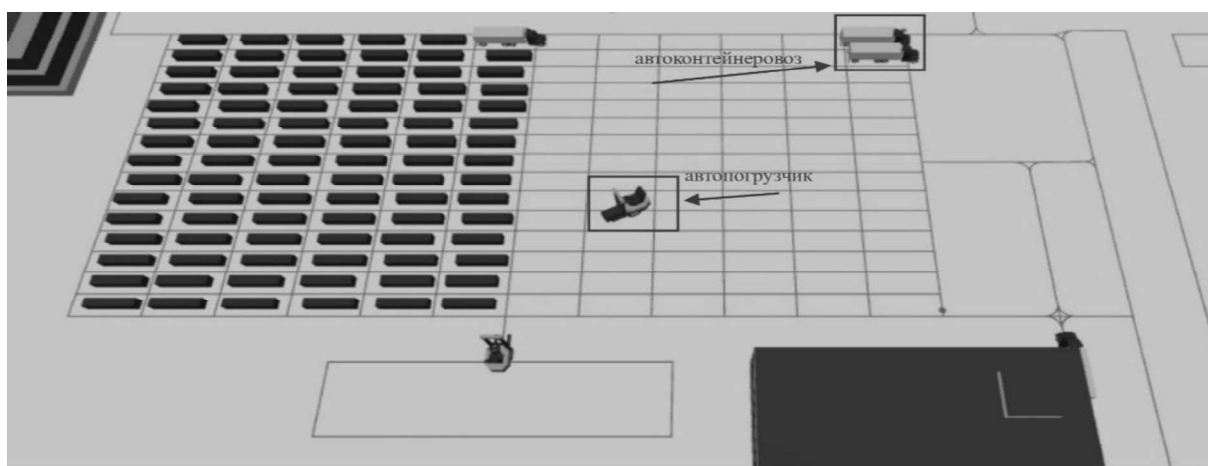
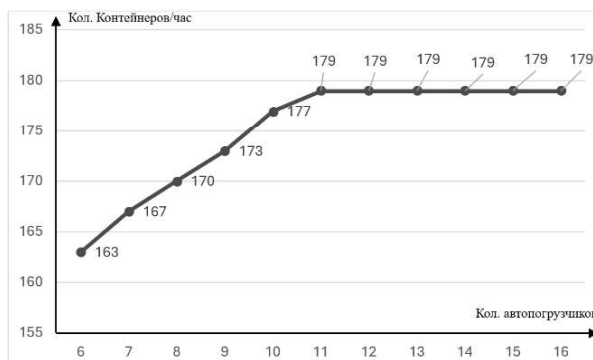
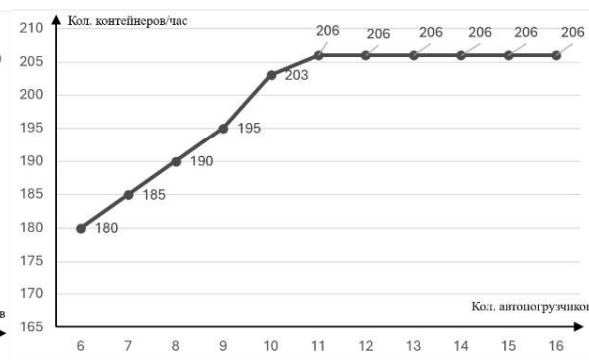


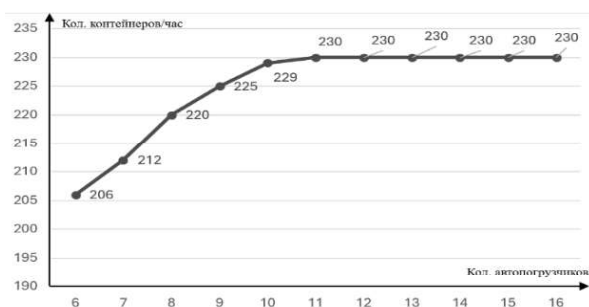
Рис. 2. Визуализация DES-модели – обработка контейнеров на территории терминала [9]



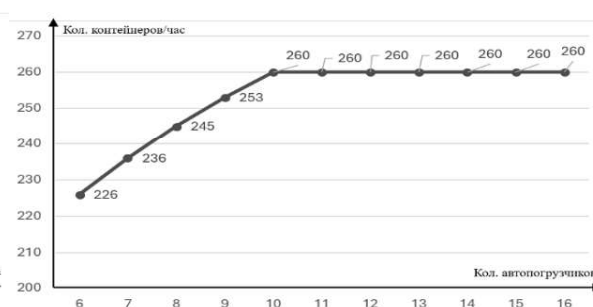
7 автотягачей



10 автотягачей



12 автотягачей



14 автотягачей

Рис. 3. Зависимость интенсивности обработки контейнеров от числа транспортных средств [9]

Методологическая ценность полученных результатов выходит за рамки конкретных количественных показателей. Модель подтверждает: DES допускает верификацию в условиях Вьетнама путём сопоставления смоделированной интенсивности обработки с фактическими данными эксплуатирующей организации; имитационный эксперимент в значительной мере замещает трудоёмкий сбор микроданных, поскольку верификация выходных параметров производится в сравнении с известными агрегированными показателями; ресурсный сценарный анализ непосредственно поддерживает инвестиционные решения по расширению мощностей, переводя имитационное моделирование из инструмента академических исследований в инструмент поддержки принятия практических управленческих решений.

Направления развития имитационного моделирования контейнерных терминалов применительно к условиям Вьетнама

На основе проведённого обзора и анализа исследовательского пробела в настоящей статье предлагается разработка модульной DES-модели контейнерного терминала применительно к условиям Вьетнама. В качестве инструментальной среды рекомендуется AnyLogic, обеспечивающий совместную реализацию DES, ABM и SD в единой среде моделирования, что допускает гибкое переключение между уровнями детализации модели и апробирован для задач аналогичного класса [11]. Arena и Python SimPy могут рассматриваться как альтернативные решения в случае ограничения области применения чистым DES.

Таблица 3.

Модульная структура, входные данные и предлагаемая стратегия верификации

Модуль	Моделируемые процессы	Приоритетные входные данные	Выходные показатели	Стратегия верификации
Судно и причальный фронт	Прибытие судна, ожидание, распределение причалов, время обслуживания	Расписания судозаходов (ВМА, МРА); прогноз времени постановки [33]; распределения из [34,40]	Время ожидания судна, коэффициент занятости причала, время оборота	Сопоставление рассчитанного коэфф. занятости причала с отраслевыми данными Морской администрации
Судовые краны и перегрузочные операции	Цикл перегрузки, распределение кранов, простои	Технические паспорта ZPMC/Liebherr; данные ОЕЕ по группе судовых кранов из [30]	Производительность перегрузки, коэф. использования кранов, время обслуживания судна	Сопоставление расчётной производительности кранов с международными эталонами (движений/ч)
Внутрипортовый транспорт	Автотягачи/транспортные средства между причалом и складом	Парк, скорость, длительность цикла; ОЕЕ по автотранспорту из [30]; корректировка по результатам ЛЦ Фьюк Лонг [9]	Коэффициент использования техники, время ожидания у причала/склада, «узкие места» транспортировки	Перекрытая верификация с результатами модели ЛЦ Фьюк Лонг 163→260 TEU/ч [9]
Контейнерный склад	Хранение, выдача, престакинг, перекладки	Вместимость склада (техн. документация порта); ОЕЕ складских кранов из [30]; нормативы перекладок [7,29,41]	Заполненность склада, число перекладок, время обслуживания	Сопоставление рассчитанного заполнения склада с проектными мощностями терминалов из [32]
Воротный комплекс и автотранспорт	Прибытие автотранспорта, ожидание, оформление, въезд/выезд	Число полос; время оформления из [13]; интенсивность потоков по данным о затоваривании ворот Кат Лай/СМТ	Время оборота авт. транспорта, очередь у ворот, коэффициент использования ворот	Сопоставление расчётного времени оборота с данными логистических компаний
Тыловая инфраструктура	Связь с ИТК, депо порожних конт., авт./водный/ж.-д. транспорт	Схемы региональных перевозок Минтранса Вьетнама; статистика ИТК Ассоциации морских портов ВН	Перегруженность инфраструктуры за пределами порта, время транспортировки, влияние на терминал	Этап 1: анализ чувствительности. Этап 2: верификация на основе данных партнёра-оператора

Переход к гибриднему моделированию должен определяться исследовательским вопросом, а не стремлением к усложнению модели. Интеграция DES+ABM целесообразна при изучении поведения автотранспортных компаний, диспетчеров или судоходных линий. Интеграция DES+SD обоснована при анализе долгосрочного роста грузооборота, инвестиций в мощности или регионального планирования логистических сетей. В обоих случаях каждый уровень интеграции должен сопровождаться соответствующей стратегией верификации.

Заключение

Выполненное исследование показало, что дискретно-событийное моделирование может рассматриваться как наиболее обоснованное методическое ядро для анализа операций контейнерного терминала на микроуровне, поскольку оно позволяет учитывать последовательность технологических событий, конкуренцию за ресурсы, очереди, простои и влияние диспетчерских решений. Агентное моделирование и системная динамика при этом целесообразны как дополнительные уровни анализа: первое – для учета поведения участников перевозочного процесса, второе – для оценки долгосрочного развития мощностей и обратных связей в транспортно-логистической системе.

Применительно к условиям Вьетнама установлено, что дальнейшее развитие имитационных моделей сдерживается не только ограниченностью микроуровневых данных, но и недостаточной интеграцией уже имеющихся эмпирических результатов в единую динамическую модель. Экспериментальная иллюстрация на основе DES-модели логистического центра Фьюк Лонг подтверждает возможность использования имитационного подхода для анализа ресурсных ограничений и выявления перемещения «узких мест» между подсистемами. Научно-практический результат статьи состоит в предложении модульного DES-каркаса контейнерного терминала для морской транспортно-логистической системы Вьетнама, который может служить методологической основой для последующих прикладных исследований при условии расширения операционной базы данных, уточнения распределений времени обслуживания и сопоставления результатов моделирования с фактическими показателями работы конкретных портовых объектов.

Литература

1. Багинова В.В., Кузьмин Д.В. Управление транспортными системами и логистической инфраструктурой: учебное пособие. М.: Прометей, 2020. С. 35–38. ISBN 978-5-00172-043-0.
2. Король Р.Г., Балалаев А.С. Имитационное моделирование системы «железнодорожная станция – морской порт» на примере Владивостокского транспортного узла // Вестник ГУМРФ имени адм. С.О. Макарова. 2015.
3. Кузнецов А.Л., Галин А.В., & Попов Г.Б. Дискретно-событийное моделирование грузовых фронтов контейнерного терминала // Вестник ГУМРФ. 2023. 15(4). С. 589–602.
4. Кузьмин Д.В., Багинова В.В., Краснобаев Д.А., Мусатов Д.В. Разработка имитационной дискретно-событийной модели транспортной инфраструктуры с использованием инструментов оптимизации // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2023. 17(2), С.42–48. <https://doi.org/10.36724/2072-8735-2023-17-2-42-48>.
5. Лемперт А.А., Жарков М.Л., Казаков А.Л., Ву Х.З. Моделирование морского контейнерного терминала с использованием сети массового обслуживания // Управление большими системами. 2024. 112. С. 310–337.

6. **Майоров Н.Н., Кириченко А.В., Фетисов В.А.** Исследование состояний контейнерного терминала на основе транспортной модели и имитационного моделирования // Вестник ГУМРФ. 2026. 7(3), 7–15.
7. **Маликова Т.Е., Петрова Е.Е.** Имитационная модель престакинга на контейнерном терминале морского порта // Вестник ГУМРФ. 2024. 16(3). С. 379–390. URL:<https://doi.org/10.21821/2309-5180-2024-16-3-379-390>.
8. **Нгуен М.Т., Багинов А.В.** Применение имитационного моделирования в организации и развитии логистических центров Вьетнама // Вестник РГУПС. 2023. 1. С. 95–102.
9. **Нгуен М.Т., Багинов А.В.** Формирование транспортно-логистической системы Вьетнама в современных условиях // Современные наукоёмкие технологии. Региональное приложение. 2024. 14(2). С. 21–24. URL:<https://doi.org/10.18503/SMTS-2024-14-2-14-24>.
10. **Рахмангулов А.Н., Муравьев Д.С.** Оценка направлений развития систем «морской порт – сухой порт» методом имитационного моделирования // Вестник УрГУПС. 2016. 3(31). С. 54–72. URL:<https://doi.org/10.20291/2079-0392-2016-3-54-72>.
11. **Шевченко А.М., Дыда А.А.** Анализ реализации агентного подхода и особенности имитационного моделирования морского порта в AnyLogic // Computational Nanotechnology. 2024. 11(1). Р. 127–134.
12. **Angeloudis P., Bell M.G.H.** (2011). A review of container terminal simulation models // Maritime Policy & Management. 2011. 38(5). Р. 523–540. URL:<https://doi.org/10.1080/03088839.2011.597448>.
13. **Bett K., Macharis C., Meers D.** Simulation-based optimization of truck appointment systems. Logistics. 2024. 8(3), 80. URL:<https://doi.org/10.3390/logistics8030080>.
14. **Bielli M., Boulmakoul A., Rida M.** Object oriented model for container terminal distributed simulation // European Journal of Operational Research. 2026. 175(3). Р. 1731–1751.
15. **Canonaco P., Legato P., Mazza R.M., Musmanno R.** A queuing network model for berth crane operations // Computers & Operations Research. 2008. 35(8). Р. 2432–2446. URL:<https://doi.org/10.1016/j.cor.2006.12.001>.
16. **Carl, H.J., Vis I.F.A., Roodbergen K.J.** Transport operations in container terminals: Literature overview, trends, research directions and classification scheme // European Journal of Operational Research. 2014. 236(1). Р. 1–13. URL:<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.11.023>.
17. **Carteni A., de Luca S.** Tactical and strategic planning for a container terminal: Modelling issues within a discrete event simulation approach. Simulation modelling practice and theory. 2012. 21(1). Р. 123–145. URL:<https://doi.org/10.1016/j.simpat.2011.10.005>.
18. **Cheng T.C.E., Tahar R.M., Ang C.L.** A system dynamics approach to container terminal planning // International Journal of Logistics Systems and Management. 2011. 10(4). Р. 420–434. URL:<https://doi.org/10.1504/IJLSM.2011.043103>.
19. **Choi Y.S., Ha T.Y., Kim W.S., Choi S.H.** A Case Study on the Design of Container Terminal in Vietnam. Journal of Navigation and Port Research. 2006. 30(7). Р. 591–597. URL:<https://doi.org/10.5394/KINPR.2006.30.7.591>.
20. **Dragović B., Tzannatos E., Park N.K.** Simulation modelling in ports and container terminals: literature overview and analysis by research field, application area and tool // Flexible Services and Manufacturing Journal. 2017. 29(1). Р. 4–34. URL:<https://doi.org/10.1007/s10696-016-9239-5>.

21. **Fransen R.W., Davydenko I.Y.** Empirical agent-based model simulation for the port nautical services: A case study for the port of Rotterdam // *Maritime Transport Research*. 2021. 2, 100040. URL:<https://doi.org/10.1016/j.martra.2021.100040>.
22. **Guldogan E.U.** Simulation-based analysis for hierarchical storage assignment policies. *Simulation*. 2011. 87(6). P. 523–537. URL:<https://doi.org/10.1177/0037549710369812>.
23. **Henesey L., Davidsson P., Persson J.A.** Agent based simulation architecture for container terminal policy evaluation // *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*. 2009. 18. P. 220–238. URL:<https://doi.org/10.1007/s10458-008-9044-y>.
24. **Legato P., Mazza R.M.** Berth planning and resources optimisation at a container terminal via discrete event simulation. *European Journal of Operational Research*. 2001. 133(3). P. 537–547. URL:[https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(00\)00200-9](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(00)00200-9).
25. **Li X., Peng Y., Huang J., Wang W., Song X.** Simulation study on terminal layout in automated container terminals from efficiency, economic and environment perspectives // *Ocean & Coastal Management*. 2021. 213, 105882. URL:<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105882>.
26. **Lin H., Zeng W., Luo J., Nan G.** An analysis of port congestion alleviation strategy based on system dynamics // *Ocean & Coastal Management*. 2022. 229, 106336. URL:<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2022.106336>.
27. **Nguyen Minh Quy, Nguyen Duc Manh.** Evaluation of port operation conditions influencing the selection of berth occupancy rate // *Journal of Science and Technology in Civil Engineering*. 2025. URL:[https://doi.org/10.31814/stce.huce2025-19\(3\)-06](https://doi.org/10.31814/stce.huce2025-19(3)-06)
28. **Nguyen Q.N., Pham V.P., Dinh V.D., Ha B.D.** Evaluating the Business Performance of Seaport Enterprises in Vietnam. *Sustainability*. 2024. 16(19), 8576. <https://doi.org/10.3390/su16198576>.
29. **Petering, M.E.H.** (2009). Effect of block width and storage yard layout on marine container terminal performance // *Transportation Research Part E*. 2009. 45(4). P. 591–610.
30. **Pham H.T., Nguyen L.H.** Empirical Performance Measurement of Cargo Handling Equipment in Vietnam Container Terminals // *Logistics*. 2022. 6(3), 44. URL:<https://doi.org/10.3390/logistics6030044>.
31. **Pham H.T., Nguyen L.H., Le N.T., Truong N.C.** An Investigation of Cargo Handling Equipment Performance in Vietnam Container Terminals // *Proceedings of the 4th International Conference on Sustainability in Civil Engineering (ICSCE 2022)*. 2022. P. 757–762. URL:https://doi.org/10.1007/978-981-99-2345-8_78.
32. **Pham T.Y., Truong N.C., Nguyen P.H., Kim H.S.** (2024). The fuzzy MCDM for container terminal choice in Vietnam from shipping lines' perspective based on cumulative prospect theory // *Asian Journal of Shipping and Logistics*. 2024. 40. P. 147–156. URL:<https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2024.06.003>.
33. **Pham T.Y., Nguyen P.N.** A data-driven framework for predicting ship berthing time and optimizing port operations at Tan Cang Cat Lai Port, Vietnam // *Case Studies on Transport Policy*. 2025. URL:<https://doi.org/10.1016/j.cstp.2025.101441>.
34. **Shabayek A.A., Yeung W.W.** A simulation model for the Kwai Chung container terminals in Hong Kong // *European Journal of Operational Research*. 2002. 140(1). P. 1–11. URL:[https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(01\)00216-8](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(01)00216-8).
35. **Stahlbock R., Voß S.** Operations research at container terminals: A literature update // *OR Spectrum*. 2008. 30. P. 1–52. URL:<https://doi.org/10.1007/s00291-007-0100-9>.
36. **Steenken D., Voß S., Stahlbock R.** Container terminal operation and operations research // *OR Spectrum*. 2004. 26. P. 3–49. <https://doi.org/10.1007/s00291-003-0157-z>.
37. **Sun Z., Tan K.C., Lee L.H., Chew E.P.** Design and evaluation of mega container terminal configurations // *Simulation*. 2013. 89(6). P. 684–692. URL:<https://doi.org/10.1177/0037549712475097>.

38. **Tahar R.M., & Hussain, K.** Simulation and analysis for the Kelang Container Terminal operations // *Logistics Information Management*. 2000. 13(1). P. 14–20. URL:<https://doi.org/10.1108/09576050010306350>.
39. **Wang W., Zhou Y., Song X., Tang G., Fang Z.** Operational impact estimation of container inspections at Dalian Port: the application of simulation // *Simulation*. 2017. 93(7). P. 619–629. URL:<https://doi.org/10.1177/0037549716680455>.
40. **Yun W.Y., Choi Y.S.** A simulation model for container-terminal operation analysis using an object-oriented approach // *International Journal of Production Economics*. 1999. 59(1–3). P. 221–230.
41. **Zhao W., Goodchild A.V.** The impact of truck arrival information on container terminal rehandling // *Transportation Research Part E*. 2010. 46(3). P. 327–343. URL:<https://doi.org/10.1016/j.tre.2009.11.007>.
42. Отчет о логистике Вьетнама 2025 [Электронный ресурс]: Министерство промышленности и торговли Вьетнама. – Ханой: Изд-во «Промышленность и торговля», 2025. – Режим доступа: URL:<https://daotaocq.gdnn.gov.vn/wp-content/uploads/2025/06/4.-BC-Logistics-Viet-Nam-2022-Bo-CT.pdf>.