

Логистические транспортные системы

УДК 656.2

Н. Е. Окулов, Ю. В. Аскарова

Повышение устойчивости железнодорожных контейнерных терминалов на основе гибридного имитационно-оптимизационного подхода

UDC 656.2

N. E. Okulov, Yu. V. Askarova

Increasing the stability of railway container terminals based on a hybrid simulation and optimization approach

Аннотация

Статья посвящена изучению методологического аппарата операционного исследования и имитационного моделирования для управления мультимодальными контейнерными терминалами в условиях неопределенности. Проведен ретроспективный анализ ключевых научных работ в области управления морскими терминалами с целью выявления и адаптации эффективных методов для железнодорожных контейнерных терминалов. В качестве основного инструментария рассмотрен аппарат дискретно-событийного имитационного моделирования. Систематизированы подходы к решению

задач планирования, управления складом, диспетчеризации техники и расчета ресурсов, включая вопросы оптимального зонирования и конфигурации терминалов. Особое внимание уделено моделированию работы терминалов при технологических сбоях и методам обеспечения устойчивости их работы. Доказана эффективность гибридного подхода, сочетающего оптимизационные модели для планирования и имитационные модели для верификации решений и оперативного управления в реальном времени. Сформулированы перспективные направления для дальнейших исследований, ориентированные на создание адаптивных

систем управления железнодорожными терминалами на основе концепции цифрового двойника.

Ключевые слова: контейнерный терминал, железнодорожный терминал, имитационное моделирование, дискретно-событийное моделирование, операционное исследование, оптимизация, управление в условиях сбоев, расчет ресурсов, устойчивость

DOI: 10.20291/2079-0392-2026-1-91-98

Abstract

The article is devoted to the study of the methodological apparatus of operational research and simulation modeling for the management

Николай Евгеньевич Окулов, канд. техн. наук, доцент кафедры «Управление процессами перевозок» Уральского государственного университета путей сообщения, Екатеринбург, Россия. E-mail: NOkulov@usurt.ru. ORCID 0000-0002-3109-8042.

Юлия Вячеславовна Аскарова, аспирант Уральского государственного университета путей сообщения, Екатеринбург, Россия. E-mail: yuaskarova@mail.ru. ORCID 0009-0002-8383-7916.

© Н. Е. Окулов, Ю. В. Аскарова, 2026

Nikolay Evgenyevich Okulov, PhD in Engineering, Associate Professor of Operations Management Department, Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, Russia. E-mail: NOkulov@usurt.ru. ORCID 0000-0002-3109-8042.

Yuliya Vyacheslavovna Askarova, postgraduate student, Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, Russia. E-mail: yuaskarova@mail.ru. ORCID 0009-0002-8383-7916.

© N. E. Okulov, Yu. V. Askarova, 2026

of multimodal container terminals in conditions of uncertainty. A retrospective analysis of key scientific papers in the field of marine terminal management has been conducted in order to identify and adapt effective methods for railway container terminals. The apparatus of discrete event simulation modeling is considered as the main toolkit. The approaches to solving the tasks of planning, warehouse management, dispatching equipment and

calculating resources, including optimal zoning and terminal configuration, are systematized. Special attention is paid to modeling the operation of terminals in case of technological failures and methods for ensuring the stability of their operation. The effectiveness of a hybrid approach combining optimization models for planning and simulation models for real-time decision verification and operational management has been proven.

Promising directions for further research have been formulated, focused on the creation of adaptive control systems for railway terminals based on the concept of a digital twin.

Keywords: container terminal, railway terminal, simulation modeling, discrete event modeling, operational research, optimization, fault management, resource calculation, sustainability

DOI: 10.20291/2079-0392-2026-1-91-98

Введение

Современные мультимодальные контейнерные терминалы, будь то морские порты или железнодорожные узлы, функционируют в условиях высокой сложности и стохастичности. Ключевые проблемы, идентифицированные в классических обзорах по морским терминалам [1–3], включают необходимость координации работы разнородного оборудования (кранов, погрузчиков, тягачей), оптимизацию использования ограниченных ресурсов (причалов/путей, складской площади), минимизацию времени простоя транспортных единиц (судов/поездов) и непроизводительных перемещений контейнеров на складе.

Для железнодорожных контейнерных терминалов (ЖДКТ) эти проблемы усугубляются специфическими факторами. Выделим основные из них.

1. Жесткость графика. Железнодорожные составы обладают меньшей операционной гибкостью по сравнению с автомобильным транспортом, что требует безусловного соблюдения временных окон на обработку.

2. Пакетный характер грузопотока. Прибытие целого состава создает импульсную нагрузку на все подсистемы терминала (на выгрузку, складирование, погрузку), что требует точного расчета и распределения ресурсов.

3. Риски сбоев. Нарушение графика движения поездов, простои на пограничном контроле или при таможенном оформлении, технические неисправности подвижного состава и терминальной техники дестабилизируют работу терминала.

Таким образом, актуальной является задача по разработке и адаптации методологии, позволяющей не только оптимизировать детерминированные показатели эффективности, но и обеспечивать устойчивость работы терминала в условиях технологических сбоев. Созданные для морских терминалов модели и методы [4–6] требуют критического осмысления и трансляции на специфику железнодорожной логистики, включая вопросы оптимального зонирования [7, 8] и технологического взаимодействия с другими видами транспорта [9].

Методология исследования

Методологическую основу представленной в статье работы составляют принципы операционного исследования, системного анализа и имитационного моделирования. Анализ литературных источников позволил синтезировать комплексный подход к управлению терминалами, включающий несколько взаимосвязанных уровней.

1. Оптимизационные модели для детерминированного планирования

На этом уровне решаются задачи стратегического и тактического планирования с использованием допущений о детерминированности параметров. Например, модели категоризированного штабелирования, предложенные в [10–12], позволяют минимизировать количество перестановок при отборе контейнеров. Для ЖДКТ это напрямую применимо при планировании размещения контейнеров в зоне хранения относительно графика отгрузки конкретных поездам.

Методы целочисленного и линейного программирования [5, 13], а также метаэвристики (генетические алгоритмы, поиск с запретами) [6, 14, 15] используются при решении таких задач, как распределение путей для обработки составов (аналог задачи распределения причалов [16]) и составление расписаний работы козловых кранов [17].

2. Имитационное моделирование для анализа сложности и стохастичности

Этот уровень – ключевой для анализа, верификации и оперативного управления. Его теоретической базой служат работы [18, 19].

Дискретно-событийное моделирование позволяет абстрагировать работу терминала как процесс, происходящий под воздействием последовательности дискретных событий во времени [19]. Это идеально подходит для моделирования прибытия поездов, работы кранов, перемещения погрузчиков, а также для детального анализа погрузочно-разгрузочных работ [20, 21].

Дискретно-событийное моделирование является незаменимым инструментом для:

определения оптимального парка техники. Модель позволяет, варьируя количество автопогрузчиков или кранов, найти точку, в которой дальнейшее увеличение парка не дает значительного прироста производительности, но ведет к росту издержек. Этот подход успешно применялся для морских

терминалов [22, 23] и напрямую может быть адаптирован для ЖДКТ;

оценки пропускной способности. Модель позволяет определить, являются ли узким местом количество путей, мощность кранов или площадь складирования [24, 25];

проектирования и оптимизации планировки терминалов. При создании нового ЖДКТ или реконструкции существующего имитационная модель служит инструментом проверки различных планировочных решений и оптимальной конфигурации [26, 27]. Исследования показывают, что эффективное зонирование терминала (например, разделение площадки для контейнеров с тяжеловесными, опасными грузами, рефрижераторных контейнеров и т. п.) значительно снижает непроизводительные перемещения техники и повышает общую пропускную способность [7, 8];

планирования работы тыловых грузовых фронтов. Моделирование позволяет синхронизировать обработку контейнеров со стороны железной дороги и их дальнейшую отправку автомобильным транспортом, оптимизируя работу склада и минимизируя простои грузовиков [21].

Планы, сгенерированные на первом уровне, могут быть протестированы в имитационной модели, которая учитывает стохастичность (например, случайное время выполнения операций, вероятность сбоев) [18]. Это позволяет оценить не теоретическую, а реальную эффективность плана.

3. Методы обеспечения устойчивости к сбоям и интеграционный подход

Синтез подходов позволяет разрабатывать устойчивые системы управления. Например, модели диспетчеризации внутритерминального транспорта в реальном времени [28, 29], дополненные данными систем позиционирования [30], дают возможность гибко перераспределять задания между погрузочно-разгрузочными механизмами в ответ на задержки или изменения в приоритетах. Методы прогнозирования

времени прибытия (например, на основе телеметрии поездов по аналогии с AIS-данными для судов [31]), позволяют терминалу заранее адаптировать рабочие планы.

Дискретно-событийное моделирование используется для отработки реакции терминала на серьезные сбои – длительную задержку поезда, выход из строя погрузочно-разгрузочного механизма. На модели можно заранее разработать и протестировать протоколы действий для минимизации ущерба.

Интегрированный подход для ЖДКТ в рамках холистического подхода к проектированию и управлению [32] предполагает создание цифрового двойника терминала. В его основе лежит дискретно-событийная модель [18, 19], которая получает на вход оптимизированные планы с верхнего уровня, отрабатывает их в условиях, максимально приближенных к реальности, служит полигоном для тестирования алгоритмов оперативного управления [29, 30] и стратегий поведения при сбоях, предоставляет данные для постоянной корректировки и улучшения оптимизационных моделей. Такой подход особенно важен для эшелонированных терминалов и терминалов «сухой порт», чья работа критически зависит от слаженного технологического взаимодействия с морскими портами и другими звеньями логистической цепи [9, 33].

Несмотря на высокую прогностическую способность предложенного гибридного подхода, его практическая реализация сопряжена с рядом вызовов, требующих дополнительного исследования. Верификация и валидация имитационных моделей – критически важный этап. Параметры, подлежащие обязательной эмпирической проверке и калибровке фактических данных реальных терминалов, включают в себя статистические распределения времени выполнения операций (время погрузки/выгрузки вагона, перемещения тягача между зонами и т. п.); закономерности входящего потока (не только средние интервалы

между прибытием поездов, но и дисперсию, сезонность и корреляцию с внешними факторами – таможенным оформлением, пограничным контролем); вероятность и длительность технологических сбоев (частоту отказов погрузочно-разгрузочных механизмов, среднее время восстановления работы, задержки из-за человеческого фактора).

При валидации используются методы статистического анализа, такие как критерий согласия хи-квадрат или Колмогорова – Смирнова, для проверки адекватности распределения, а также сравнения ключевых показателей работы, полученных на модели, с фактическими данными (например, среднее время простоя вагонов, коэффициент загрузки кранов, путей и т. п.).

Основным ограничением является зависимость качества модели от полноты и достоверности исходных данных. На этапе проектирования нового терминала эта проблема усугубляется, так как требует использования данных аналогичных объектов или экспертных оценок, что, в свою очередь, вносит дополнительную неопределенность.

Выводы

Проведенный анализ показывает, что современный методологический аппарат, сформировавшийся в области исследования морских контейнерных терминалов, обладает высокой степенью универсальности и пригоден для решения актуальных задач железнодорожных контейнерных терминалов. Расширение методологии за счет включения аспектов зонирования, оптимальной конфигурации, моделирования тыловых операций и холистического управления позволяет создать более целостную и эффективную систему поддержки принятия решений.

Самым перспективным направлением является гибридный подход, комбинирующий оптимизационные модели для формирования планов и дискретно-событийное имитационное

моделирование для их верификации, исполнения и коррекции в динамичной и стохастичной среде. Имитационное моделирование выступает не просто как инструмент анализа, а как ядро будущей системы управления – цифрового двойника, позволяющее отрабатывать сценарии работы в условиях технологических сбоев, точно рассчитывать необходимое техническое оснащение и оптимизировать планировку терминала.

Дальнейшие исследования должны быть сфокусированы на разработке специализированных имитационно-оптимизационных моделей работы контейнерных терминалов, учитывающих всю специфику железнодорожной логистики, включая интеграцию с системами управления перевозочным процессом, а также на углубленном изучении вопросов устойчивости сложных терминальных систем. ■

Литература

1. Vis I. F. A., De Koster R. Transshipment of containers at a container terminal: An overview // *European Journal of Operational Research*. 2003. Vol. 147. Pp. 1–16. DOI: 10.1016/S0377-2217(02)00293-X.
2. Steenken D., Voß S., Stahlbock R. Container terminal operation and operations research – a classification and literature review // *OR Spectrum*. 2004. Vol. 26. Pp. 3–49. DOI: 10.1007/s00291-003-0157-z.
3. Stahlbock R., Voß S. Operations research at container terminals: a literature update // *OR Spectrum*. 2008. Vol. 30. Pp. 1–52. DOI: 10.1007/s00291-007-0100-9.
4. Gunther H.-O., Kim K.-H. Container terminals and terminal operations // *OR Spectrum*. 2006. Vol. 28. Pp. 437–445. DOI: 10.1007/s00291-006-0059-y.
5. A decision support system for operations in a container terminal / K. G. Murty, J. Liu, Y. W. Wan, R. Linn // *Decision Support Systems*. 2005. Vol. 39. Pp. 309–332. DOI: 10.1016/j.dss.2003.11.002.
6. Salido M. A., Rodríguez-Molins M., Barber F. A decision support system for managing combinatorial problems in container terminals // *Knowledge-Based Systems*. 2012. Vol. 29. Pp. 63–74. DOI: 10.1016/j.knosys.2011.06.021.
7. Янченко А. А., Маликова Т. Е., Вольнов И. Н. Разработка модели исследования влияния зонирования контейнерного терминала на эффективность его работы // *Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова*. 2017. № 4 (44). С. 704–713. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-4-704-713.
8. Имитационное моделирование контейнерных терминалов. URL: <https://morproekt.ru/okompanii/nauchnaya-deyatelnost/imitatsionnoe-modelirovanie-kontejnerykh-terminalov>.
9. Павленко С. С. Моделирование технологического взаимодействия морских и тыловых контейнерных терминалов // *Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова*. 2015. № 6 (34). С. 59–71. DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-6-59-71.
10. Categorized stacking models for import containers in port container terminals / S.-C. Ting, J.-S. Wang, S. L. Kao, F. M. Pitty // *Maritime Economics & Logistics*. 2010. Vol. 12. Pp. 162–177. DOI: 10.1057/mel.2010.4.
11. Ting S.-C., Kao S. L., Pitty F. M. Categorized Stacking for Imported Containers in Port Container Terminals : proceedings of the 8th International Conference of Eastern Asia Society for Transportation Studies. 2009. Vol. 7. DOI: 10.11175/eastpro.2009.0.163.0.
12. Mario R.-M., Salido M. A., Barber F. Intelligent planning for allocating containers in maritime terminals // *Expert Systems with Applications*. 2012. Vol. 39. Pp. 978–989. DOI: 10.1016/j.eswa.2011.07.098.
13. Kim K. H. Models and Methods for Operations in Port Container Terminals // *Logistics Systems: Design and Optimization*, Springer, 2005. Pp. 213–243.
14. Wong A., Kozan E. Optimising Machine Usage for Container Transfers at Multi-Modal Container Terminals : proceedings of the 5th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference. 2004. Pp. 30.5.1–30.5.9.
15. Vacca I., Bierlaire M., Salani M. Optimization at Container Terminals: Status, Trends and Perspectives : proceedings of the 7th Swiss Transport Research Conference. 2007. 21 p.

16. Lee D.-H., Wang H. Q. Integrated discrete berth allocation and quay crane scheduling in port container terminals // *Engineering Optimization*. 2010. Vol. 42. No. 8. Pp. 747–761. DOI: 10.1080/03052150903406571.
17. Voß S. Container terminals and operations research – a survey with special emphasis on planning and scheduling of double rail mounted gantry cranes : proceedings of the 2nd International Intelligent Logistics Systems Conference. 2006. Pp. 7.1–7.2.
18. Law A. M. *Simulation Modeling and Analysis*. New York : McGraw-Hill, 2014. 800 p.
19. *Discrete-Event System Simulation* / J. Banks, J. Carson, B. Nelson, D. Nicol. Prentice Hall, 2010. 662 p.
20. Кузнецов А. Л., Давыденко Е. А. Моделирование погрузочно-разгрузочных работ на контейнерном терминале // *Транспортное дело России*. 2022. № 2. С. 205–207. DOI: 10.52375/20728689_2022_2_205.
21. Кузнецов А. Л., Кириченко А. В., Семенов А. Д. Планирование работы тыловых грузовых фронтов морских контейнерных терминалов методами имитационного моделирования // *Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова*. 2019. Т. 11. № 2. С. 243–253. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-2-243-253.
22. Park N. K., Dragovic B., Kim J. Y. Dynamic Equipment Deployment at a Container Terminal: Transfer System Based on Real-Time Positioning // *Journal of Mechanical Engineering*. 2009. Vol. 55. No. 2. Pp. 83–94.
23. Ndiaye N. F. Algorithmes d'optimisation pour la résolution du problème de stockage de conteneurs dans un terminal portuaire. Havre, 2015. 185 p.
24. Roy D., De Koster R. Modeling and Design of Container Terminal Operations // *Facility Design eJournal*. 2014. Pp. 1–59. DOI: 10.2139/ssrn.2458048.
25. Wong A. Optimisation of container process at multimodal container terminals. Queensland, 2008. 158 p.
26. Васин А. В., Захаров Д. С., Анненков Л. В. Моделирование оптимальной конфигурации морского порта // *Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова*. 2019. Т. 11. № 4. С. 662–669. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-4-662-669.
27. Günther H.-O., Kim K.-H. Container terminals and terminal operations // *OR Spectrum*. 2006. Vol. 28. No. 4. Pp. 437–445. DOI: 10.1007/s00291-006-0059-y.
28. Xing Y. Vehicle Dispatching Problem at the Container Terminal with Tandem Lift Quay Cranes. 2013. 111 p.
29. Storage and stacking logistics problems in container terminals / J. Luo, Y. Wu, Á. Halldórsson, X. Song // *OR Insight*. 2011. Vol. 24. No. 4. Pp. 256–275. DOI: 10.1057/ori.2011.10.
30. Reefke H. Simulation of Container Traffic Flows at a Metropolitan Seaport // *Advance Manufacturing and Sustainable Logistics*. 2010. Vol. 46. Pp. 420–431. DOI: 10.1007/978-3-642-12494-5_37.
31. Meijer R. ETA prediction. Predicting the ETA of a container vessel based on route identification using AIS data. Delft, 2017. 186 p.
32. Холистический подход к проектированию, созданию, управлению работой и развитием наземных контейнерных терминалов / А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко, В. Н. Щербакова-Слюсаренко, В. А. Погодин // *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология*. 2017. № 1. С. 97–107. ISSN 2073-1574.
33. Проектирование работы контейнерных терминалов в морских портах с помощью имитационного моделирования AnyLogic. URL: <https://www.anylogic.ru/resources/case-studies/container-yard-planning-and-management-system-built-with-anylogic-simulation>.

References

1. Vis I. F. A., De Koster R. Transshipment of containers at a container terminal: An overview. *European Journal of Operational Research*. 2003. Vol. 147. Pp. 1–16. DOI: 10.1016/S0377-2217(02)00293-X.
2. Steenken D., Voß S., Stahlbock R. Container terminal operation and operations research – a classification and literature review. *OR Spectrum*. 2004. Vol. 26. Pp. 3–49. DOI: 10.1007/s00291-003-0157-z.

3. Stahlbock R., Voß S. Operations research at container terminals: a literature update. *OR Spectrum*. 2008. Vol. 30. Pp. 1–52. DOI: 10.1007/s00291-007-0100-9.
4. Gunther H.-O., Kim K.-H. Container terminals and terminal operations. *OR Spectrum*. 2006. Vol. 28. Pp. 437–445. DOI: 10.1007/s00291-006-0059-y.
5. Murty K. G., Liu J., Wan Y. W., Linn R. A decision support system for operations in a container terminal. *Decision Support Systems*. 2005. Vol. 39. Pp. 309–332. DOI: 10.1016/j.dss.2003.11.002.
6. Salido M. A., Rodríguez-Molins M., Barber F. A decision support system for managing combinatorial problems in container terminals. *Knowledge-Based Systems*. 2012. Vol. 29. Pp. 63–74. DOI: 10.1016/j.knosys.2011.06.021.
7. Yanchenko A. A., Malikova T. E., Volnov I. N. Developing the model for study of terminal zoning impact on its operating efficiency. *Bulletin of the Admiral S. O. Makarov State University of Marine and River Fleet*. 2017. No. 4 (44). Pp. 704–713. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-4-704-713. (In Russian).
8. Simulation of container terminals. URL: <https://morproekt.ru/o-kompanii/nauchnaya-deyatelnost/imitatsionnoe-modelirovanie-kontejnernykh-terminalov>. (In Russian).
9. Pavlenko S. S. Sea ports and inland container terminals interaction modeling. *Bulletin of the Admiral S. O. Makarov State University of Marine and River Fleet*. 2015. No. 6 (34). Pp. 59–71. DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-6-59-71. (In Russian).
10. Ting S.-C., Wang J.-S., Kao S. L., Pitty F. M. Categorized stacking models for import containers in port container terminals. *Maritime Economics & Logistics*. 2010. Vol. 12. Pp. 162–177. DOI: 10.1057/mel.2010.4.
11. Ting S.-C., Kao S. L., Pitty F. M. Categorized Stacking for Imported Containers in Port Container Terminals : proceedings of the 8th International Conference of Eastern Asia Society for Transportation Studies. 2009. Vol. 7. DOI: 10.11175/eastpro.2009.0.163.0.
12. Mario R.-M., Salido M. A., Barber F. Intelligent planning for allocating containers in maritime terminals. *Expert Systems with Applications*. 2012. Vol. 39. Pp. 978–989. DOI: 10.1016/j.eswa.2011.07.098.
13. Kim K. H. Models and Methods for Operations in Port Container Terminals. *Logistics Systems: Design and Optimization*. Springer, 2005. Pp. 213–243.
14. Wong A., Kozan E. Optimising Machine Usage for Container Transfers at Multi-Modal Container Terminals : proceedings of the 5th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference. 2004. Pp. 30.5.1–30.5.9.
15. Vacca I., Bierlaire M., Salani M. Optimization at Container Terminals: Status, Trends and Perspectives : proceedings of the 7th Swiss Transport Research Conference. 2007. 21 p.
16. Lee D.-H., Wang H. Q. Integrated discrete berth allocation and quay crane scheduling in port container terminals. *Engineering Optimization*. 2010. Vol. 42. No. 8. Pp. 747–761. DOI: 10.1080/03052150903406571.
17. Voß S. Container terminals and operations research – a survey with special emphasis on planning and scheduling of double rail mounted gantry cranes : proceedings of the 2nd International Intelligent Logistics Systems Conference. 2006. Pp. 7.1–7.2.
18. Law A. M. Simulation Modeling and Analysis. New York : McGraw-Hill, 2014. 800 p.
19. Banks J., Carson J., Nelson B., Nicol D. Discrete-Event System Simulation. Prentice Hall, 2010. 662 p.
20. Kuznetsov A. L., Davydenko E. A. Simulation of ship handling operations at container terminal. *Transport business of Russia*. 2022. No. 2. Pp. 205–207. DOI: 10.52375/20728689_2022_2_205. (In Russian).
21. Kuznetsov A. L., Kirichenko A. V., Semenov A. D. Application the simulation modeling methods for planning a container terminal internal operations. *Bulletin of the Admiral S. O. Makarov State University of Marine and River Fleet*. 2019. Vol. 11. No. 2. Pp. 243–253. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-2-243-253. (In Russian).
22. Park N. K., Dragovic B., Kim J. Y. Dynamic Equipment Deployment at a Container Terminal: Transfer System Based on Real-Time Positioning. *Journal of Mechanical Engineering*. 2009. Vol. 55. No. 2. Pp. 83–94.
23. Ndiaye N. F. Algorithmes d'optimisation pour la résolution du problème de stockage de conteneurs dans un terminal portuaire. Havre, 2015. 185 p.
24. Roy D., De Koster R. Modeling and Design of Container Terminal Operations. *Facility Design eJournal*. 2014. Pp. 1–59. DOI: 10.2139/ssrn.2458048.

25. Wong A. Optimisation of container process at multimodal container terminals. Queensland, 2008. 158 p.
26. Vasin A. V., Zakharov D. S., Annenkov L. V. Modeling the optimal seaport configuration. *Bulletin of the Admiral S. O. Makarov State University of Marine and River Fleet*. 2019. Vol. 11. No. 4. Pp. 662–669. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-4-662-669. (In Russian).
27. Günther H.-O., Kim K.-H. Container terminals and terminal operations. *OR Spectrum*. 2006. Vol. 28. No. 4. Pp. 437–445. DOI: 10.1007/s00291-006-0059-y.
28. Xing Y. Vehicle Dispatching Problem at the Container Terminal with Tandem Lift Quay Cranes. 2013. 111 p.
29. Luo J., Wu Y., Halldórsson Á., Song X. Storage and stacking logistics problems in container terminals. *OR Insight*. 2011. Vol. 24. No. 4. Pp. 256–275. DOI: 10.1057/ori.2011.10.
30. Reefke H. Simulation of Container Traffic Flows at a Metropolitan Seaport. *Advance Manufacturing and Sustainable Logistics*. 2010. Vol. 46. Pp. 420–431. DOI: 10.1007/978-3-642-12494-5_37.
31. Meijer R. ETA prediction. Predicting the ETA of a container vessel based on route identification using AIS data. Delft, 2017. 186 p.
32. Kuznetsov A. L., Kirichenko A. V., Shcherbakova-Slyusarenko V. N., Pogodin V. A. The holistic approach for the design, creation, management of the operation and development of ground container terminals. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and technologies*. 2017. No. 1. Pp. 97–107. ISSN 2073-1574. (In Russian).
33. Designing the operation of container terminals in seaports using AnyLogic simulation. URL: <https://www.anylogic.ru/resources/case-studies/container-yard-planning-and-management-system-built-with-anylogic-simulation/>. (In Russian).

Статья сдана в редакцию 21 октября 2025 года