

К вопросу роботизации тыловых контейнерных терминалов

Н. В. Малышев, Е. К. Коровяковский

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: Малышев Н. В., Коровяковский Е. К. К вопросу роботизации тыловых контейнерных терминалов // Бюллетень результатов научных исследований. – 2020. – Вып. 1. – С. 15–25. DOI: 10.20295/2223-9987-2020-1-15-25

Аннотация

Цель: Анализ транспортно-перегрузочной системы контейнерного терминала для определения предпосылок и возможных проблем при исключении человека из технологического процесса на тыловом контейнерном терминале в сложившихся условиях развития транспортной системы России. **Методы:** Используются статистические методы для анализа рынка роботизации и перспектив внедрения безлюдных технологий. Для исследования целесообразности применения роботизации было выполнено имитационное моделирование работы тылового контейнерного терминала при различных типах техники. Выбор имитационного моделирования был обусловлен невозможностью проведения экспериментов на реальном объекте, трудностью построения аналитической модели (в системе есть причинные связи, нелинейная логика, стохастические переменные), необходимостью анализа поведения системы во времени. **Результаты:** Сделаны выводы по применению погрузо-разгрузочной техники. Предложена имитационная модель работы тылового контейнерного терминала. **Практическая значимость:** Рассмотрение роботизации терминально-складского комплекса особенно важно в современных условиях технического прогресса, когда грузовой терминал превращается в объект с высокоорганизованным технологическим процессом и высокооплачиваемыми специалистами.

Ключевые слова: Роботизация, имитационное моделирование, транспортно-перегрузочная система, тыловой терминал, контейнерно-транспортная система.

Введение

С ростом контейнеризации на тыловых терминалах, связывающих морские и сухопутные перевозки, увеличиваются объемы переработки. Принимая за основу сохранение среднегодового темпа роста контейнеризации и ожидаемые средние темпы роста внутреннего валового продукта России на 1,5–2 % в год, можно спрогнозировать средние темпы роста контейнерного рынка на уровне 7–8 % в год. По оценкам ПАО «Трансконтейнер» доля контейнеропригодных грузов, перевозимых в контейнерах по сети ОАО «РЖД», увеличилась на 0,4 % за 2018 г. Рынок вырос с 2,3 млн двадцатифутовых эквивалентов (ДФЭ) в 2010 г. до 4,4 млн ДФЭ в 2018 г. [1]. Несмотря на рост, уровень контейнеризации на железных дорогах России незначителен по сравнению с 40 % в Европейском Союзе [2].

А значит, без создания необходимой инфраструктуры и новых транспортных продуктов позитивная динамика в ближайшей прогнозируемой перспективе может замедлиться [3]. В ряде концепций и нормативных документов ОАО «РЖД» и Правительство Российской Федерации [4–7] решительным образом изменяют отношение к внедрению инновационных проектов в терминально-складском комплексе.

Предпосылки внедрения безлюдных технологий в России

Стоимость внедрения и эксплуатации технологии роботизации на контейнерных терминалах крайне велика, однако существуют экономические причины для изменения ситуации. Во-первых, среднемесячные затраты на работника железнодорожного транспорта растут: в 2005 г. с учетом инфляции составляли 34 797,9 руб., в 2017 г. уже 53 005,1 руб. [8].

Во-вторых, средняя стоимость промышленных роботов снижается с 3,2 млн руб. в 2012 г. до 2,6 млн руб. в 2017 г., что заставляет компании вкладывать все больше финансовых средств в исследование безлюдных технологий. Данные по динамике продаж промышленных роботов представлены на рис. 1 [9].

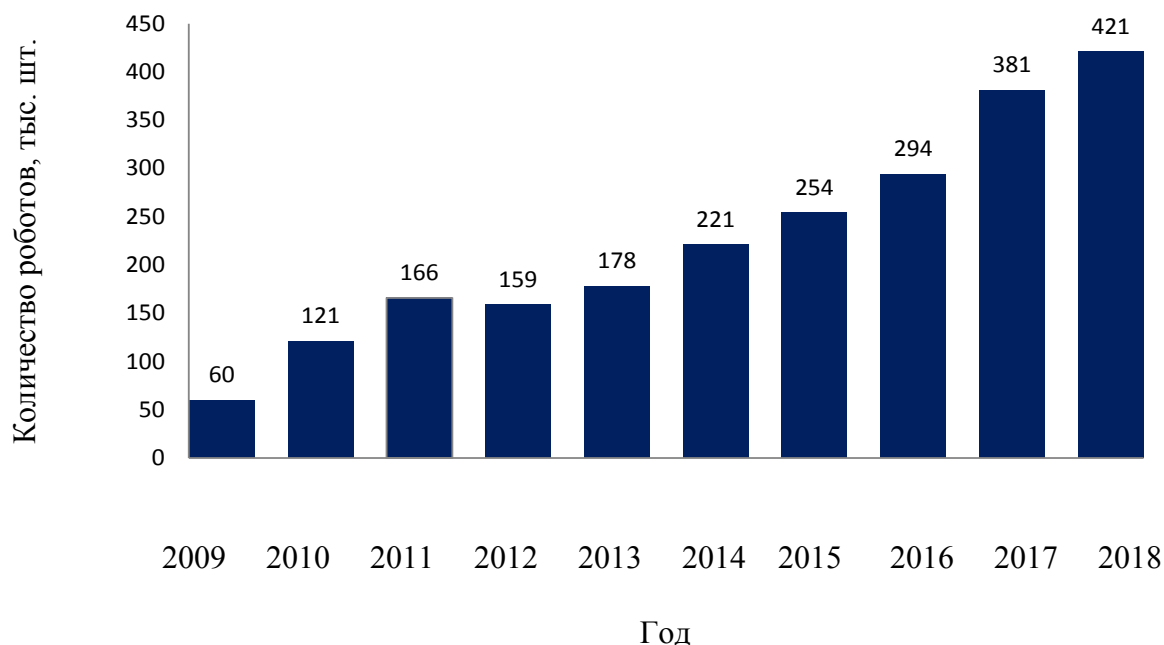


Рис. 1. Динамика продаж промышленных роботов

В-третьих, на российских железных дорогах существует значительный потенциал увеличения объемов контейнерных перевозок; прогнози-

руемый темп роста спроса на услуги на российском рынке контейнерных перевозок будет превышать среднемировой показатель в среднем в 1,5 раза [6]. Перевалка контейнеров в морских портах будет продолжать возрастать, способствуя концентрации грузопотоков и более массовому развитию технологии ускоренных контейнерных поездов. В силу особенностей географии и размеров России транзитные перевозки и конкретно ускоренные контейнерные поезда, как услуга, будут и далее развиваться и не только на Транссибирской магистрали.

С точки зрения технологии, применяемой на терминалах, условия работы операторов погрузо-разгрузочной техники усугубляют значительный информационный поток, приводящий к эмоциональной перегрузке. Для работа такая среда идеальна при наличии необходимой и достаточной информации, техника выполняет работу максимально быстро, по самым коротким маршрутам и без ошибок. Для исключения человека была разработана система «кран – горизонтальный транспорт – кран», работающая автоматически.

Технологические процессы, связанные только с перемещением контейнера, отличаются однотипностью (захват – перенос – установка), одинаковым перемещаемым объектом – контейнером, достаточно строгой организацией технологического процесса и сравнительно низкой требуемой точностью укладки контейнера. Эти особенности существенно облегчают задачу роботизации, позволяя широко применять относительно простых роботов со сравнительно невысокой маневренностью и точностью позиционирования.

Автоматизированная обработка контейнеров началась с первого применения на ECT Delta Terminal в г. Роттердам автоматических железнодорожных козловых кранов [10]. В первую очередь технология начала развиваться в сторону работы крана в штабеле и внутритерминального транспорта, так как эти операции самые трудоемкие по времени и наиболее сильно влияли на перерабатывающую способность терминала. После успешного внедрения технологии на ECT Delta Terminal опыт переняли в лондонском порту Thamesport, на контейнерных терминалах Altenwerder в Германии, Ohi в Японии и Evergreen в Тайване.

Одной из первых попыток полностью исключить человека стал проект «Moorebank Logistics Park», реализуемый австралийской логистической компанией «Qube». На терминале будут применены система управления терминалом «N4 Navis» и оборудование производителя погрузо-разгрузочной техники «Kalmar», основными из которого станут: четыре автоматизированных железнодорожных порталных крана, восемь автоматизированных железнодорожных козловых кранов, восемь гибридных порталных кранов на пневмоходу. Предполагается, что проект будет работать на

электричестве, получаемом от солнечных батарей, расположенных на территории терминала [11].

Проблемы роботизации в России

Основные места концентрации контейнеропотока – морские российские порты обрабатывают недостаточные объемы для внедрения высокопроизводительных систем в ближайшие годы. В России, кроме большого количества «дешевых», но при этом высококвалифицированных специалистов в транспортной отрасли, почти на всех железнодорожных контейнерных терминалах существует третья ночная смена, отсутствие которой на западноевропейских и североамериканских мультимодальных терминалах и делает экономически выгодным использование роботизации. Внедрение новой технологии связано с рисками и длительным периодом отладки, что в непростых экономических условиях России негативно влияет на срок окупаемости. Если же инвестиции удастся привлечь, чтобы их вернуть, операционные расходы автоматизированного терминала должны быть на 25 % ниже, чем у обычного, или производительность должна увеличиться на 30 %, а операционные расходы снизиться на 10 % [12].

Организация работы в условиях безлюдных технологий

По планировке железнодорожные контейнерные терминалы (рис. 2) традиционно делятся на 4 типа, 5 основных участков: крытый перегрузочный склад, железнодорожный грузовой фронт, автомобильный грузовой фронт, зона хранения контейнеров, участок прямой перегрузки [13].

С учетом стоимости технологии рассматриваются две транспортно-перегрузочные системы контейнерного терминала (рис. 3), основой для которых стали железнодорожные пути с роботизированными козловыми кранами при обработке автомобильного и железнодорожного транспорта. Для большей надежности и безопасности наиболее эффективна работа в полуавтоматическом режиме, при контроле или дистанционном управлении операторами на удаленных рабочих станциях.

Первая система с применением роботизированных порталных погрузчиков подходит для средних по размеру терминалов, где важны высокая гибкость технологии и доступность к штабелям с контейнерами. Портальные погрузчики независимы от другой техники и способны транспортировать, укладывать в штабеля контейнеры, а также обрабатывать грузовые автомобили. В случае необходимости перераспределения техники

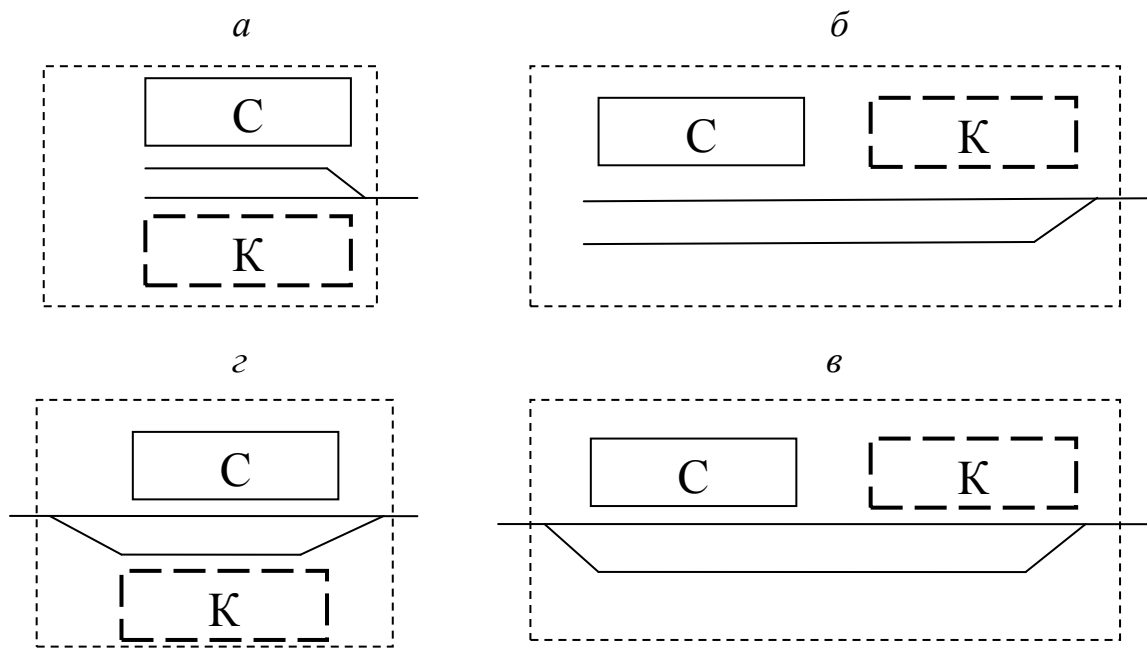


Рис. 2. Схемы планировок контейнерных терминалов: тупиковые поперечная (а) и продольная (б), проходные поперечная (в) и продольная (г); С – крытые склады, К – контейнерные площадки

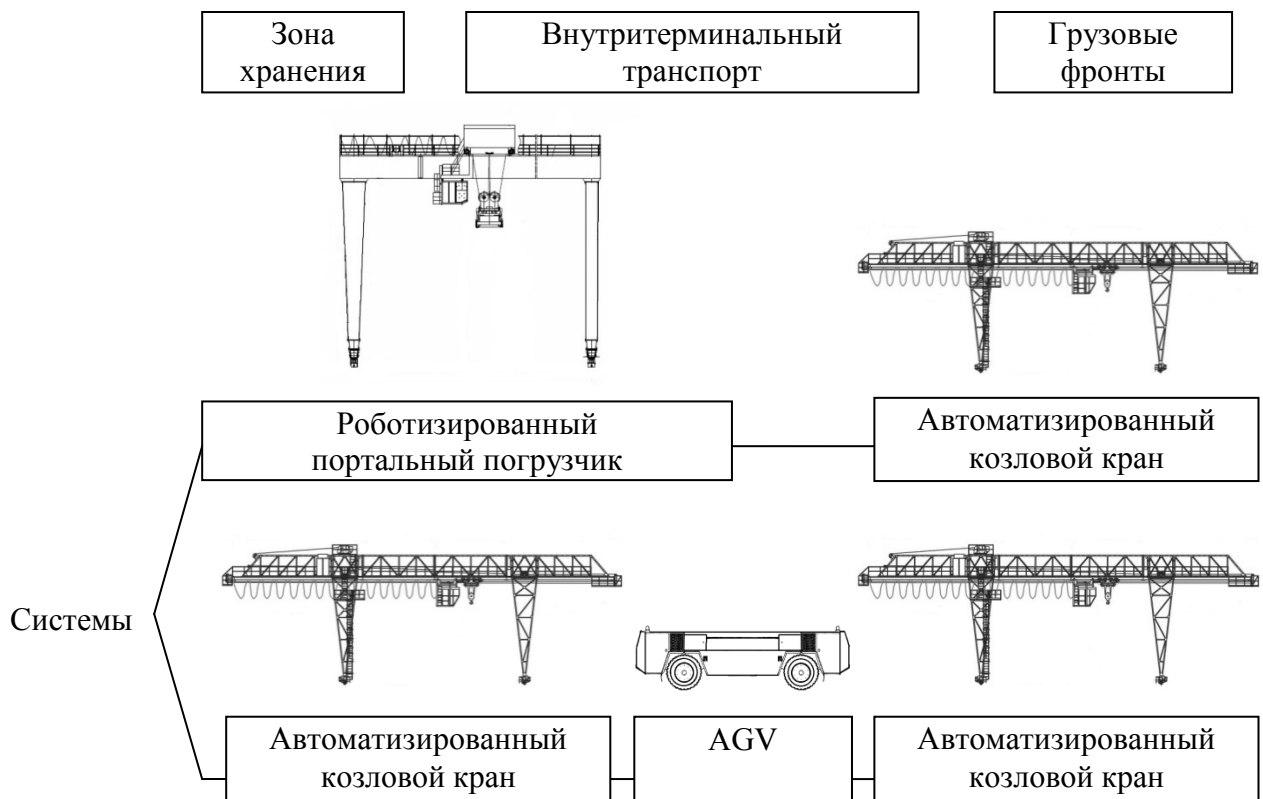


Рис. 3. Варианты транспортно-перегрузочных систем контейнерного терминала

погрузчики можно передать на другой терминал или использовать на других участках терминала. Также погрузчики могут применяться при непредвиденном увеличении контейнеропотока в качестве дополнительной транспортно-перегрузочной техники. Сочетание роботизированного козлового крана и роботизированного порталного погрузчика предлагает множество преимуществ:

- быстрый горизонтальный транспорт вдоль путей, не зависящий от движения крана;
- предварительную сортировку в штабеле контейнеров рядом с поездом;
- благодаря порталным погрузчикам экономию капитальных затрат, исключая козловые краны в зоне хранения;
- возможность быстро изменить схему (планировку) терминала под требования технологии переработки, поскольку порталные погрузчики перераспределяются между участками.

Во второй системе дополнительно используются роботизированные тележки AGV (Automated guided vehicle) и пневмоколесные козловые краны RTG (Rubber Tyred Gantry Cranes), что характерно для крупных терминалов – хабов, где необходим быстрый обмен контейнеров между поездами или поездом и зоной хранения. Места с контейнерами для AGV рядом с железнодорожными путями также применяются для буферизации и предварительной сортировки контейнеров для отходящих поездов. RTG в этом варианте укладывает контейнеры, взятые с AGV и автомобилей, в длинные блоки. Такая система дает следующие преимущества:

- простоту роботизации;
- более высокую плотность складирования контейнеров за счет отсутствия полос для движения погрузчика и возможности штабелирования в большее количество ярусов;
- большую надежность и более длительный срок эксплуатации RTG и AGV, чем порталных погрузчиков;
- относительно простые конструкции и небольшие затраты на техническое обслуживание;
- при необходимости значительных перемещений внутри терминала AGV более эффективны, так как быстрее и менее дорогостоящие, чем порталные погрузчики.

При всех преимуществах в России более предпочтительно использование рельсовых козловых кранов из-за более простой роботизации при сопоставимых капитальных вложениях. Серьезный недостаток системы – две передачи контейнера, так как для перемещения и погрузо-разгрузочных работ на грузовом фронте и в зоне хранения применяется разное оборудование.

Имитационная модель роботизированного контейнерного терминала

Для изучения принципиально новой грузоперерабатывающей структуры, а также поиска оптимальных технических и технологических решений была разработана имитационная модель железнодорожного контейнерного терминала (рис. 4) в программе Anylogic. Для моделирования тылового терминала выбран метод дискретно-событийного моделирования, разработанный Джеффри Гордоном в 1960-х годах. В настоящее время метод используется для моделирования как сложных систем массового обслуживания, так и транспортных систем. Данный метод является оптимальным для проектирования сложной системы контейнерного терминала.

Модель действует на основе данных о нахождении контейнера в соответствующих блоках исследуемой системы. Переход от одного блока к другому происходит в соответствии с технологией работы терминала и учетом временных интервалов, которые зависят от моделируемых операций.

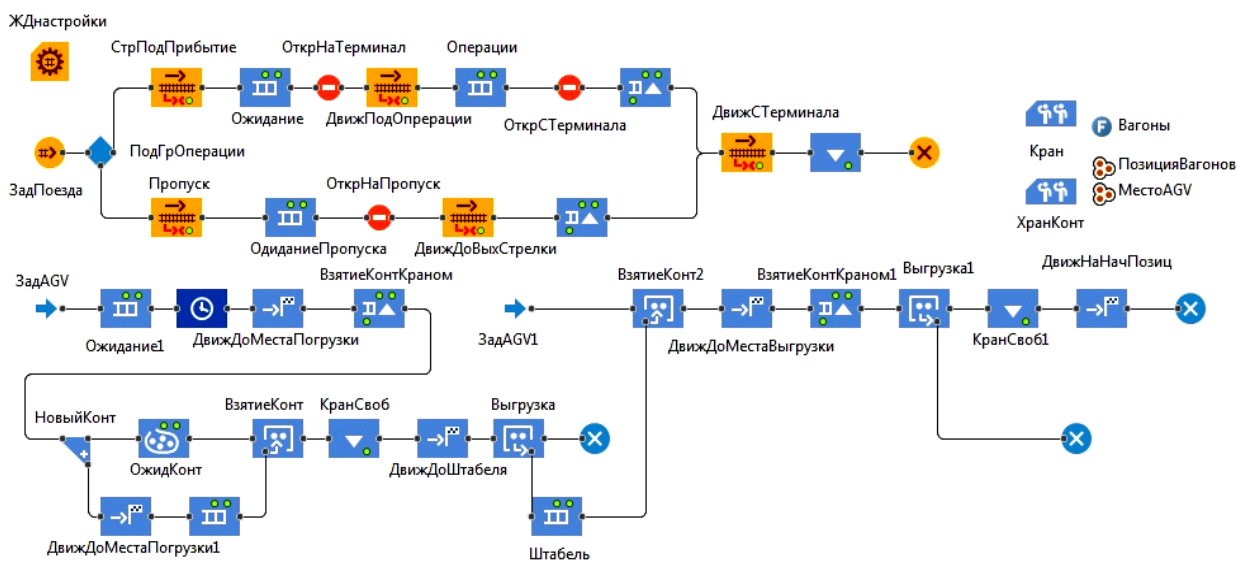


Рис. 4. Имитационная модель железнодорожного терминала

В модели рассматривается обработка составов под погрузку и выгрузку, а также пропуск поезда сквозь терминал при необходимости. Терминал состоит из: погрузо-выгрузочного пути, обслуживаемого козловым краном, зоны хранения, служебных проездов, по которым AGV перемещает контейнеры в зону хранения с грузового фронта и обратно, служебных проездов, по которым грузовые автомобили перемещаются от контрольно-пропускного пункта до зоны хранения и обратно.

Заключение

Таким образом, внедрение безлюдных технологий – сложный процесс, связанный не только с детальным проектированием и технологическими вопросами, но и с решением проблем безопасности людей в зоне работы автоматизированной техники [14]. До сих пор остаются не решенными вопросы выбора оптимального маршрута роботом в условиях неопределенности [15]. Вместе с тем использование роботов стабилизирует техпроцесс, увеличиваются грузоподъемность, точность и быстрдействие. К тому же отсутствие человека в рабочей зоне избавляет его от нахождения во вредной среде.

На тыловых терминалах подъемное оборудование находится в центре процесса – любой сбой оказывает непосредственное негативное влияние на контейнерные перевозки. Простои, которые нередко происходят во время погрузки контейнеров на платформу или их выгрузки, особенно невыгодны на этих терминалах. Интеллектуальные алгоритмы, которые могут предсказать поведение оборудования или позволяют предотвратить ошибки в его работе, имеют огромный потенциал и позволяют поднять производительность контейнерного терминала на абсолютно другой, качественно лучший, уровень. При этом роботизацию необходимо рассматривать не как самоцель, а как средство оптимизации работы терминала и снижения затрат.

В целом процесс роботизации железнодорожных контейнерных терминалов находится в начальной стадии своего развития. В настоящее время количество контейнерных терминалов, применяющих роботизацию, не превышает нескольких десятков.

Библиографический список

1. Годовой отчет ПАО «ТрансКонтейнер» за 2018 год. – М.: ПАО «ТрансКонтейнер», 2019. – 256 с.
2. Railway role in intermodality and the digitalization of transport documents, 2017. – Geneva: United Nations Economic Commission for Europe, 2018. – 75 p.
3. Гулый И. М. Цифровизация транспортного комплекса России на основе внедрения технологий распределения реестра (blockchain) / И. М. Гулый, А. П. Бадеецкий, К. Е. Ковалев // Логистика, грузовая и коммерческая работа: тенденции и перспективы. – 2018. – С. 160–168.
4. Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2018 г. № 204. – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/43027> (дата обращения: 01.11.2019 г.).
5. Концепция комплексного развития контейнерного бизнеса в Холдинге «РЖД». – М.: ОАО «РЖД», 2012. – 71 с.

6. Концепция создания терминально-логистических центров на территории Российской Федерации. – М.: ОАО «РЖД», 2012. – 79 с.
7. Концепция развития транспортно-логистического бизнеса Холдинга «РЖД». – М.: ОАО «РЖД», 2013. – 85 с.
8. Труд и занятость в России. 2017: Стат. сб. – Т78. – М.: Росстат, 2017. – 261 с.
9. Representing the global robotics industry. – Frankfurt: International Federation of Robotics, 2018. – 28 p.
10. Hutchison Ports ECT Delta. – URL: <https://www.ect.nl/en/terminals/hutchison-ports-ect-delta> (дата обращения: 01.11.2019 г.).
11. Moorebank Logistics Park (MLP) is Australia's largest freight infrastructure project and will link Port Botany direct to rail terminals and warehousing on a 243 hectare site. – URL: <http://qubemlp.com.au/about> (дата обращения: 01.11.2019 г.).
12. The future of automated ports. – URL: <https://www.mckinsey.com/industries/travel-transport-and-logistics/our-insights/the-future-of-automated-ports> (дата обращения: 01.11.2019 г.).
13. Арефьев И. Б. Анализ и моделирование транспортных узлов: монография / И. Б. Арефьев, Е. К. Коровяковский. – М.: ЮПИ, 2018. – 228 с.
14. Болотин В. А. Информационные технологии в обеспечении сохранности перевозки грузов на открытом подвижном составе / В. А. Болотин, Н. Г. Янковская // Логистика, грузовая и коммерческая работа: тенденция и перспективы. – 2018. – С. 14–26.
15. Коровяковский Е. К. Выбор маршрута транспортных средств в условиях неопределенности / Е. К. Коровяковский, А. П. Бадецкий // Транспорт России: проблемы и перспективы. – 2016. – С. 280–284.

Дата поступления: 04.12.2019

Решение о публикации: 24.12.2019

Контактная информация:

МАЛЫШЕВ Николай Валерьевич – аспирант; kol.pgups@mail.ru

КОРОВЯКОВСКИЙ Евгений Константинович – канд. техн. наук, доцент;

ekorsky@mail.ru

Robotic automation of logistics container terminals

N. V. Malyshev, E. K. Korovyakovskiy

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

For citation: Malyshev N. V., Korovyakovskiy E. K. Robotic automation of logistic container terminals. *Bulletin of scientific research results*, 2020, iss. 1, pp. 15–25. (In Russian)

DOI: 10.20295/2223-9987-2020-1-15-25

Summary

Objective: To analyze a trans-shipping system of a container terminal in order to determine factors and possible problems in case of excluding a human from engineering process at a logistics container terminal in the existing development conditions of the Russian transport system. **Methods:** Statistical methods were used for the analysis of the robotic automation market and implementation prospects of automated machining. Simulation modeling of the logistics container terminal under various types of machinery was conducted in order to study applicability of robotic automation. The method of simulation modeling was chosen due to the absence of real-life object for testing, difficulty of building an analytical model (the system has causal links, non-linear logic, stochastic variables), the need for behavioral analysis of the system in time. **Results:** Conclusions were made on application of loading-unloading machinery. A simulation model of logistics container terminal operation was proposed. **Practical importance:** The study of robotic automation of the logistics complex is becoming more and more important in modern conditions of technological process, when a cargo terminal is transformed into a facility with highly-organized engineering process and well-paid experts.

Keywords: Robotic automation, simulation modeling, trans-shipping system, logistics terminal, containerized transport system.

References

1. *Godovoy otchet PAO "TransKonteiner" za 2018 god* [PAO "TransKonteiner" annual report over 2018]. Moscow, PAO «TransKonteiner» Publ., 2019, 256 p. (In Russian)
2. *Railway role in intermodality and the digitalization of transport documents*, 2017. Geneva, United Nations Economic Commission for Europe Publ., 2018, 75 p.
3. Guliy I. M., Badetskiy A. P. & Kovalev K. E. Tsifrovizatsiya transportnogo kompleksa Rossii na osnove vnedreniya tekhnologiy raspredeleniya reestra [Digitalization of the Russian transport complex through the implementation of register distribution technologies (blockchain)]. *Logistika, gruzovaya i kommercheskaya rabota: tendentsii i perspektivy* [Logistics, freight operation and commercial work: trends and prospects], 2018, pp. 160–168. (In Russian)
4. *Ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 07.05.2018 g. no. 204* [Decree of the President of the Russian Federation dated May 7th, 2018, N 204]. Available at: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/43027> (accessed: 01.11.2019). (In Russian)
5. *Kontseptsiya kompleksnogo razvitiya konteiner'nogo biznesa v Kholdinge "RZhD"* [Comprehensive development framework of container business in the "Russian Railways" holding company]. Moscow, OAO "RZhD" [Russian Railways] Publ., 2012, 71 p. (In Russian)
6. *Kontseptsiya sozdaniya terminalno-logisticheskikh tsentrov na territorii Rossiyskoy Federatsii* [Design concept for terminal logistic centers on the territory of the Russian Federation]. Moscow, OAO "RZhD" [Russian Railways] Publ., 2012, 79 p. (In Russian)
7. *Kontseptsiya razvitiya transportno-logisticheskogo biznesa Kholdinga "RZhD"* [Development framework for transport and logistics business of the "Russian Railways" holding company]. Moscow, OAO "RZhD" [Russian Railways] Publ., 2013, 85 p. (In Russian)
8. *Trud i zanyatost v Rossii* [Labour and employment in Russia]. 2017. Collected articles. T78. Moscow, Rosstat [Russian Federal State Statistics Service] Publ., 2017, 261 p. (In Russian)
9. *Representing the global robotics industry*. Frankfurt, International Federation of Robotics Publ., 2018, 28 p.

10. *Hutchison Ports ECT Delta*. Available at: <https://www.ect.nl/en/terminals/hutchison-ports-ect-delta> (accessed: 01.11.2019).

11. *Moorebank Logistics Park (MLP) is Australia's largest freight infrastructure project and will link Port Botany direct to rail terminals and warehousing on a 243 hectare site*. Available at: <http://qubemlp.com.au/about> (accessed: 01.11.2019).

12. *The future of automated ports*. Available at: <https://www.mckinsey.com/industries/travel-transport-and-logistics/our-insights/the-future-of-automated-ports> (accessed: 01.11.2019).

13. Arefyev I. B. & Korovyakovskiy E. K. *Analiz i modelirovaniye transportnykh uzlov*. Monografiya [*Analysis and modeling of transport nodal points*. Monograph]. Moscow, YuPI Publ., 2018, 228 p. (In Russian)

14. Bolotin V. A. & Yankovskaya N. G. *Informatsionniye tekhnologii v obespechenii sokhrannosti perevozky gruzov na otkrytom podvizhnom sostave* [Information technologies for safe transit in the open rolling stock]. *Logistika, gruzovaya i kommercheskaya rabota: tendentsii i perspektivy* [*Logistics, freight operation and commercial work: trends and prospects*], 2018, pp. 14–26. (In Russian)

15. Korovyakovskiy E. K. & Badetskiy A. P. *Vybor marshruta transportnykh sredstv v usloviyakh neopredelennosti* [Route selection under uncertainty]. *Transport Rossii: problemy i perspektivy* [*Transport of Russia: problems and prospects*], 2016, pp. 280–284. (In Russian)

Received: December 04, 2019

Accepted: December 24, 2019

Author's information:

Nicolay V. MALYSHEV – Postgraduate Student; kol.pgups@mail.ru

Evgeny K. KOROVYAKOVSKIY – PhD in Engineering, Associate Professor; ekorsky@mail.ru