

Ю. О. Полтавская¹, В. Е. Гозбенко^{1,2}

¹ Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск, Российская Федерация

² Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕГРУЗОЧНЫМИ ОПЕРАЦИЯМИ НА КОНТЕЙНЕРНЫХ ТЕРМИНАЛАХ

Аннотация. Ввиду увеличения объемов перевалки грузовых единиц на терминалах взаимодействия различных видов транспорта исследования, направленные на автоматизацию процессов управления перегрузочными операциями, являются актуальными в настоящее время. В статье приведен обзор перегрузочных операций на контейнерных терминалах с описанием методов и приемов использования автоматизированного моделирования. Процесс моделирования следует рассматривать как итеративный процесс, предусматривающий разработку модели, ее тестирование, выявление наиболее существенных характеристик, и внесение поправок в исходную модель на основе полученных данных. Итерация продолжается до тех пор, пока не будут достигнуты адекватный уровень оценки и цели моделирования. Основной целью моделирования является повышение эффективности перегрузочных операций путем поиска способов снижения затрат или увеличения производительности. Терминальные операции и обработка грузовых единиц, необходимые для перегрузки контейнеров, рассматриваются как сложная система управления, которая требует принятия множества решений, поэтому описаны основные процессы перевалки контейнеров, и перечислены возможные решения, связанные с каждым процессом перегрузки.

Ключевые слова: контейнерный терминал, транспортная система, грузовые перевозки, перегрузочные операции, автоматизированное моделирование, грузовая единица.

J. O. Poltavskaya¹, V. E. Gozbenko^{1,2}

¹ Angarsk State Technical University, Angarsk, Russian Federation

² Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russian Federation

AUTOMATED SIMULATION CONTROL PROCESSES OF TRANSPORTATION OPERATIONS AT CONTAINER TERMINALS

Abstract. In view of the increase in the volume of transshipment of cargo units at the terminals of interaction of various types of transport, studies aimed at automating the processes of managing transshipment operations are relevant at the present time. The article provides an overview of transshipment operations at container terminals with a description of methods and techniques for using automated modeling. The modeling process should be viewed as an iterative process involving developing a model, testing it, identifying the most significant characteristics, and adjusting the original model based on the data obtained. The iteration continues until an adequate level of assessment and modeling goals are achieved. The main goal of modeling is to improve the efficiency of handling operations by looking for ways to reduce costs or increase productivity. The terminal operations and handling of cargo units required for container handling is considered a complex management system that requires many decisions, therefore, the main container handling processes are described, and possible solutions associated with each handling process are listed.

Keywords: container terminal, transport system, freight transport, reloading operations, automated modeling, unit loads.

Введение

Моделирование является эффективным способом визуализации абстрактных концепций, принципов и процессов во многих прикладных областях [1 – 3]. Контейнерный терминал можно рассматривать как сложную систему, содержащую несколько объектов с определенными атрибутами и характеристиками. При моделировании таких систем следует уделять особое внимание процессам управления перегрузочными операциями. Для повышения производительности функционирования терминалов в качестве инструмента улучшения процессов управления с целью увеличения времени оборота транспортных средств (ТС) и ускорения грузопотоков применяется автоматизированное моделирование [4, 5].

При осуществлении перегрузочных операций все основные процессы воспроизводятся с помощью имитационной модели. Смоделированную систему можно использовать в каче-

стве инструмента для улучшения процессов управления технологическими операциями на терминале [6, 7].

Можно выделить следующие дискретные события, связанные с перегрузочными операциями при интермодальных контейнерных перевозках:

- прибытие грузовых единиц в терминал отправления;
- хранение перед отправкой;
- транспортировка;
- прибытие грузовых единиц в пункт назначения [8, 9].

Контейнеры прибывают на терминал и проходят таможенный контроль в пределах выделенных зон работы ТС, а затем распределяются по складам в соответствии с требованиями. Большинство контейнеров размещается в заранее зарезервированной зоне, откуда они будут отправлены.

Управление перегрузочными операциями на контейнерном терминале

Управление технологическими операциями на контейнерных терминалах считается трудоемкой задачей ввиду определения их производительности, количества участников; определенных внутренних характеристик терминалов; и внешних воздействий, которые могут оказывать влияние на данный процесс. Операции по обработке контейнеров на терминале зависят от различных связанных подсистем. Для достижения целей эффективного управления необходимо учитывать интересы всех участников перевозочного процесса. В операциях контейнерного терминала процессы, направленные на перегрузку, можно разделить на подпроцессы [10]. Определение основных подпроцессов, а также формы принятия решений, необходимые для управления приведены на рисунке 1.



Рис. 1. Процессы управления технологическими операциями на контейнерном терминале [8]

Автоматизированное моделирование процессов управления перегрузочными операциями

Для моделирования процессов управления перегрузочными операциями на контейнерном терминале может быть применено дискретное моделирование, в котором зависимые переменные изменяются мгновенно в определенные моменты времени [11 – 14]. Как правило, модели непрерывного моделирования включают дифференциальные уравнения, которые задают зависимости изменения переменных со временем. Решение о том, использовать ли дискретную или непрерывную модель для конкретной системы, зависит от конкретных целей исследования. Например, при моделировании системы очередей такие переменные, как «средняя длина очереди» контейнеровозов в порту, являются непрерывными, поскольку длина очереди меняется со временем, в то время как «средняя задержка» для контейнеро-

зов дискретна, поскольку рассчитывается среднее значение от задержки для каждого элемента в очереди.

С точки зрения управления контейнерным терминалом проблемы, требующие оперативных решений, могут оказаться непростой задачей. Используя автоматизированное моделирование для преобразования непрерывных моделей в дискретные, возможно применение моделирования дискретных событий [4, 15]. Этапы автоматизированного моделирования процессов управления перегрузочными операциями проиллюстрированы на рисунке 2, ниже описаны основные действия, которые будут выполняться на каждом представленном этапе.

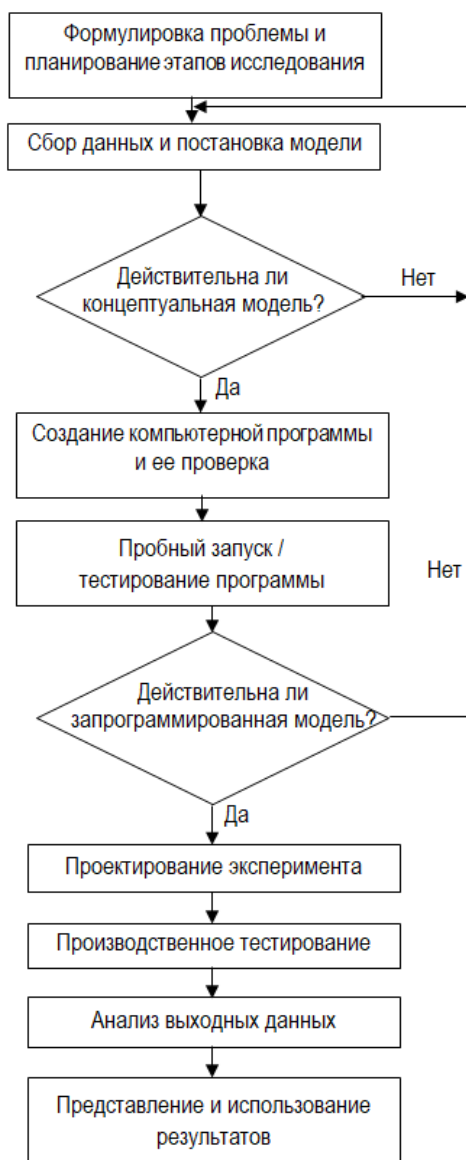


Рис. 2. Общий процесс автоматизированного моделирования процессов управления перегрузочными операциями

Процесс моделирования следует рассматривать как итеративный процесс, в ходе которого необходимо разработать модель, протестировать ее, выявив наиболее важные и существенные характеристики процесса, внести поправки в модель на основе полученных данных и продолжить итерацию до тех пор, пока не будут достигнуты адекватный уровень оценки и цель моделирования. Первоначальный этап начинается с постановки задачи: определяются проблемы в операциях по перегрузке грузовых единиц в контейнерном терминале, а также составляется общий план проекта, включающий различные сценарии перевалки, которые будут исследованы. Далее собираются исходные данные о схеме и процедурах терминала, указываются параметры, определяется уровень детализации модели.

На третьем этапе осуществляется проверка действующей модели реального контейнерного терминала. Анализ выполняется с помощью «структурированного обхода», проверяются математические и логические взаимосвязи, касающиеся компонентов и структуры системы контейнерного терминала. Данный процесс необходимо произвести перед программированием, пока не будет разработана модель соответствующей сложности. После проверки концептуальная модель кодируется в компьютерно узнаваемую форму – операционную модель. В ходе пробных запусков имитационного контейнерного терминала проверяется каждое требование на наличие неисправностей или ошибок. Также в результате тестирования определяется, является ли концептуальная модель точным представлением контейнерного терминала, для этого применяют анализ чувствительности, чтобы определить, какие факторы модели оказывают значительное влияние на показатели эффективности. Для каждого сценария перегрузки, который должен быть смоделирован, необходимо принять решения относительно продолжительности цикла моделирования, количества прогонов (повторений) и способа инициализации, если это необходимо.

Производственное тестирование циклов перевалки на контейнерном терминале позволяет определить абсолютную производительность определенных параметров системы и сравнить альтернативные конфигурации для оценки показателей производительности.

Анализ результатов моделирования начинается с выбора показателей эффективности. Показателями эффективности могут быть временные затраты (время обслуживания, время ожидания, общее время оборачиваемости), занятость и коэффициент использования причалов, производительность и загрузка погрузочно-разгрузочных механизмов (ПРМ). В случае, если моделирование представляет собой случайный процесс, моделирование следует выполнить несколько раз, пока не будет достигнуто приблизительно устойчивое состояние. Поскольку используются случайные входные значения, будет произведен случайный выход. Устойчивое состояние достигается, когда выходные данные имеют примерно одинаковое распределение. Для получения надежных статистических результатов требуется надлежащий анализ выходных данных. Вопросы, которые необходимо решить при проведении анализа выходных данных: какова подходящая продолжительность моделирования операций контейнерного терминала; каким образом могут быть интерпретированы результаты моделирования; как анализируются различия между конфигурациями модели. Например, можно сравнить методы штабелирования/складирования или рассмотреть разные типы погрузочно-разгрузочных механизмов, если есть возможность изменения системы обработки грузовых единиц на контейнерном терминале. Документация по результатам всего анализа должна быть изложена четко и кратко. В дальнейшем результаты могут быть использованы в процессах валидации для повышения достоверности имитационной модели.

Заключение

Целью написания статьи было представить обзор процессов автоматизированного моделирования и перевалки грузов на контейнерном терминале. Возможности для использования автоматизированного моделирования должны заключаться в оценке и тестировании вопросов «что, если...», а результаты должны сравниваться с характеристиками конкретных контейнерных терминалов и перегрузочными операциями, которые могут быть на нем осуществлены. Разработку решений по управлению перегрузочными операциями не следует рассматривать как создание виртуального объекта, в котором будут указаны основные переменные и их значения по результатам процесса автоматизированного моделирования. Крайне важно, чтобы большое внимание было уделено созданию имитационной модели, гарантируя, что основные системные требования и результаты проверены на каждом этапе моделирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лебедева О.А., Крипак М.Н. Моделирование грузовых перевозок в транспортной сети // Вестник Ангарского государственного технического университета. 2016. № 10. С. 182-184.

2. Полтавская Ю. О. Моделирование процессов взаимодействия элементов транспортно-технологической системы региона / Ю. О. Полтавская, А. П. Хоменко, О. Д. Толстых // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2020. – № 4 (68). – С. 158–165. – DOI: 10.26731/1813-9108.2020.4(68).158-165.
3. Лебедева О.А. Стратегическое планирование грузопотоков на основе модели распределения продуктов / О.А. Лебедева, В. Е. Гозбенко // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2020. – № 4 (68). – С. 183–189. – DOI: 10.26731/1813-9108.2020.4(68).183-189.
4. Wilson I.D., Roach P.A. Container stowage planning: a methodology for generating computerised solutions // *Journal of the Operational Research Society*, 2000, Vol. 2000, pp. 1248-1255.
5. Лебедева О.А., Крипак М.Н. Развитие городских грузовых систем с учетом концепции городского планирования // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. 2016. Т. 1. № 1. С. 244-247.
6. Комаров А. В. Позиционирование технологических процессов в структуре транспортных систем // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2020. – Т. 66 № 2. – С. 163–169. – DOI: 10.26731/1813-9108.2020.2(66).163-169.
7. Фокин, И. В. Автоматизация процедуры принятия решений при разработке технологических процессов / И. В. Фокин, Т. В. Божеева // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2017. – № 1(53). – С. 67-72.
8. Полтавская Ю.О. Определение очередности обслуживания подвижного состава в транспортных узлах на основе критерия оптимальности // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. 2020. Т. 1. № 17. С. 171-175. DOI: 10.36629/2686-7788-2020-1-171-175.
9. Царегородцева Е. Ю. Глобальный рынок мультимодальных грузоперевозок [Электронный ресурс] / Е. Ю. Царегородцева, П. Е. Механикова // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. — 2021. — №2(12). — Режим доступа: <https://mnv.irkups.ru/toma/212-2021>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. рус., англ. (дата обращения: 11.09.2021).
10. Carlo J.H., Vis F.A., Roodbergen K.J. Transport operations in container terminals: Literature overview, trends, research directions and classification scheme // *European Journal of Operational Research*, 2014, Vol. 236, pp.1-13.
11. Лебедева О. А. Оптимизация городских грузовых перевозок с использованием модели энтропии / О. А. Лебедева, В. Е. Гозбенко, С. К. Каргапольцев // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2019. – Т. 64, № 4. – С. 131–137. – DOI: 10.26731/1813-9108.2019.4(64). 131-137.
12. Полтавская Ю.О. Оптимизация транспортной сети на основе минимума общих затрат на доставку грузов // Вестник Ангарского государственного технического университета. 2019. № 13. С. 178-183. DOI: 10.36629/2686-777x-2019-1-13-178-183.
13. Иванова С. В. Разработка системы организации грузоперевозок для предприятий железнодорожного транспорта / С. В. Иванова, Е. Д. Молчанова // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2020. – Т. 65 № 1. – С. 112–119. – DOI: 10.26731/1813-9108.2020.1(65).112-119.
14. Brzeziński M., Pyza D. Designing of Transshipment Terminals for Selected Intermodal Transport Systems // In: Siergiejczyk M., Krzykowska K. (eds) *Research Methods and Solutions to Current Transport Problems. ISCT21 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 1032, 2020, Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-27687-4_6.
15. Boysen N., Flidner M., Determining crane areas in intermodal transshipment yards: The yard partition problem // *European Journal of Operational Research*, 2010, Vol. 204, pp. 336-342.

REFERENCES

1. Lebedeva O.A., Kripak M.N. Modelirovaniye gruzovykh perevozok v transportnoy seti [Modeling of freight in transport network] // *Vestnik Angarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of the Angarsk State Technical University]*, 2016. № 10. С. 182-184.

2. Poltavskaya Yu. O., Khomenko A. P., Tolstykh O. D. Modelirovanie protsessov vzaimodeistviya elementov transportno-tekhnologicheskoi sistemy regiona [The research of interaction processes of the regional transportation and technological system elements]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2020, No. 4 (68), pp. 158–165. – DOI: 10.26731/1813-9108.2020.4(68).158-165.
3. Lebedeva O.A., Gozbenko V.E. Strategicheskoye planirovaniye gruzopotokov na osnove modeli raspredeleniya produktov [Strategic planning of cargo flows based on the product distribution model]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2020, No. 4 (68), pp. 183–189. – DOI: 10.26731/1813-9108.2020.4(68).183-189.
4. Wilson I.D., Roach P.A. Container stowage planning: a methodology for generating computerised solutions // *Journal of the Operational Research Society*, 2000, Vol. 2000, pp. 1248-1255.
5. Lebedeva O.A., Kripak M.N. Razvitiye gorodskikh gruzovykh sistem s uchetom kontseptsii gorodskogo planirovaniya [Development of urban freight systems with regard to the concept of urban planning] // *Sbornik nauchnykh trudov Angarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Collection of scientific papers of the Angarsk State Technical University], 2016. T. 1. № 1. C. 244-247.
6. Komarov A. V. Pozitsionirovanie tekhnologicheskikh protsessov v strukture transportnykh sistem [Positioning of technological processes in the structure of transport systems]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2020, Vol. 66, No. 2, pp. 163–169. DOI: 10.26731/1813-9108.2020.2(66).163-169.
7. Fokin I.V., Bozheeva T.V. Avtomatizatsiya protsedury prinyatiya resheniy pri razrabotke tekhnologicheskikh protsessov [Automation of the decision-making procedure in the development of technological processes]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2017, Vol. 53, No. 1, pp. 67–72.
8. Poltavskaya J.O. Opredeleniye ocherednosti obsluzhivaniya podvizhnogo sostava v transportnykh uzлах na osnove kriteriya optimal'nosti [Determination round of vehicles service in freight transport hubs on the criterion optimity] // *Sbornik nauchnykh trudov Angarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Collection of scientific papers of the Angarsk State Technical University], 2020. T. 1. № 17. C. 171-175. DOI: 10.36629/2686-7788-2020-1-171-175.
9. Tsaregorodtseva E. Yu., Mekhanikova P. E. Global'nyy rynek mul'timodal'nyh gruzoperevozok [Global multimodal transportation market]. *Molodaya nauka Sibiri: ehlektronnyy nauchnyy zhurnal* [Young science of Siberia: electronic scientific journal], 2021, no. 2. [Accessed 11/09/21].
10. Carlo J.H., Vis F.A., Roodbergen K.J. Transport operations in container terminals: Literature overview, trends, research directions and classification scheme // *European Journal of Operational Research*, 2014, Vol. 236, pp.1-13.
11. Lebedeva O. A., Gozbenko V. E., Kargapol'tsev S. V. Optimizatsiya gorodskikh gruzovykh perevozok s ispol'zovaniyem modeli entropii [Optimizing urban transportation using entropy model]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2019. Vol. 64, No. 4. Pp. 131– 137. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.4(64). 131-13.
12. Poltavskaya J.O. Optimizatsiya transportnoy seti na osnove minimuma obshchikh zatrat na dostavku gruzov [Optimization of transport network on the basis of minimum total costs for cargo delivery] // *Vestnik Angarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Angarsk State Technical University], 2019. № 13. C. 178-183. DOI: 10.36629/2686-777x-2019-1-13-178-183.
13. Ivanova S. V., Molchanova E. D. Razrabotka sistemy organizatsii gruzoperevozok dlya predpriyatiy zheleznodorozhnogo transporta [Development of a cargo transportation organization system for enterprises of railway transport]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2020, Vol. 65, No. 1, pp. 112–119. DOI: 10.26731/1813-9108.2020.1(65).112-119.

14. Brzeziński M., Pyza D. Designing of Transshipment Terminals for Selected Intermodal Transport Systems // In: Siergiejczyk M., Krzykowska K. (eds) Research Methods and Solutions to Current Transport Problems. ISCT21 2019. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 1032, 2020, Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-27687-4_6.

15. Boysen N., Flidner M., Determining crane areas in intermodal transshipment yards: The yard partition problem // *European Journal of Operational Research*, 2010, Vol. 204, pp. 336-342.

Информация об авторах

Полтавская Юлия Олеговна - к.т.н., доцент кафедры «Управление на автомобильном транспорте», Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск, e-mail: juliapoltavskaya@mail.ru

Гозбенко Валерий Ерофеевич - д.т.н., профессор, профессор кафедры математики, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: vgozbenko@yandex.ru

Authors

Yuliya Olegovna Poltavskaya – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Subdepartment of Management of Automobile Transport, Angarsk State Technical University, Angarsk, e-mail: juliapoltavskaya@mail.ru

Valerii Erofeevich Gozbenko – Doctor of Engineering Science, Professor, Professor of the Subdepartment of Mathematics, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: vgozbenko@yandex.ru

Для цитирования

Полтавская Ю. О. Автоматизированное моделирование процессов управления перегрузочными операциями на контейнерных терминалах [Электронный ресурс] / Ю. О. Полтавская, В. Е. Гозбенко // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. — 2021. — №3 (13). — Режим доступа: <http://ojs.irgups.ru/index.php/mns/issue/view/35>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. рус., англ.

For citation

Poltavskaya J. O., Gozbenko V. E. *Avtomatizirovannoe modelirovanie processov upravleniya peregruzochnymi operaciyami na kontejnernih terminalah* [Automated simulation control processes of transportation operations at container terminals] *Molodaya nauka Sibiri: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal* [Young science of Siberia: electronic scientific journal], 2021, no. 3(13).