

Рубрика 1. ТЕХНОЛОГИИ И ПРОЕКТЫ

Направление – Транспортные системы

УДК [UDC] 656.21

DOI 10.17816/transsyst202281115-123

© **А.В. Сугоровский**

Петербургский государственный университет путей сообщения

Императора Александра I

(Санкт-Петербург, Россия)

## ОБОСНОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ПУТЕЙ НЕОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

**Цель:** предложить определение методом имитационного моделирования технического оснащения и технологического обеспечения путей необщего пользования.

**Методы:** для достижения поставленной цели использованы методы теории вероятностей и математической статистики.

**Результаты:** в результате обработки эмпирических данных с использованием пакета прикладной программы Статистика (Statistica) получены выборочное среднее, среднеквадратическое отклонение и коэффициент вариации. В ходе различных экспериментов с моделью функционирования транспортной системы определены необходимые для освоения перспективных объёмов работы: путевое развитие и количество маневровых локомотивов.

**Заключение:** определение необходимого развития железнодорожной инфраструктуры других путей необщего пользования можно вести предложенным порядком.

**Ключевые слова:** железнодорожный путь, путевое развитие, железнодорожная станция, имитационное моделирование, реконструкция.

Rubric 1. TECHNOLOGIES AND PROJECTS

Field – Transport systems

© **A.V. Sugorovsky**

Petersburg State Transport University of Emperor Alexander I

(St. Petersburg, Russia)

## JUSTIFICATION OF THE DEVELOPMENT OF THE RAILWAY INFRASTRUCTURE OF NON-PUBLIC TRACKS USING THE METHOD OF SIMULATION MODELING

**Aim:** to propose a definition by the method of simulation of technical equipment and technological support of non-public use paths.

**Methods:** methods of probability theory and mathematical statistics were used to achieve this goal.

**Results:** as a result of processing empirical data using the Statistics application package, the sample mean, standard deviation and coefficient of variation were obtained. In the course of various experiments with the model of the functioning of the transport system, the necessary volumes of work for the development of promising volumes of work were determined: track development and the number of shunting locomotives.

**Conclusion:** the determination of the necessary development of the railway infrastructure of other non-public routes can be carried out in the proposed order.

**Key words:** railway track, track development, railway station, simulation modeling, reconstruction.

## ВВЕДЕНИЕ

В результате увеличения объемов добычи полезных ископаемых на путях необщего пользования могут возникать инфраструктурные ограничения: недостаточное путевое развитие железнодорожной станции, техническое оснащение, количество маневровых локомотивов, тогда появляется задача поиска наиболее рационального решения для обеспечения отгрузки готовой продукции с учетом необходимости производства маневровых работ. Порядок определения технического оснащения и технологического обеспечения путей необщего пользования рассмотрен на примере станции «М», на территории которой расположен горно-обогатительный комбинат, решение задачи выполнено методом имитационного моделирования, хорошо зарекомендовавшим себя для различных целей [1–7].

Во-первых, для решения поставленной задачи требуется проанализировать технико-эксплуатационную характеристику станции и планируемый к перевозке грузопоток.

*Технико-эксплуатационная характеристика станции «М»*

Станция «М» по характеру работы является грузовой, в основном погрузочной промышленной станцией, через которую готовая продукция комбината отправляется на внешнюю сеть железных дорог потребителям.

Основные выполняемые на станции операции следующие:

- прием порожних и груженых передач со станций ОАО «РЖД»;
- сортировка порожних вагонов в соответствии с требованиями отправки разным потребителям;
- подготовка вагонов под погрузку;
- подача вагонов на места погрузки-выгрузки;
- погрузка готовой продукции;
- выгрузка грузов, обеспечивающих работу комбината;
- формирование груженых маршрутов на сеть ОАО «РЖД»;

– передача груженых маршрутов и групп порожних вагонов из-под выгрузки на сеть ОАО «РЖД».

На станцию «М» подают следующие вагоны: порожние под погрузку, груженые под выгрузку и сдвоенные операции. Подача как правило производится сборными передаточными составами (груженые и порожние вагоны) по уведомлению с интервалом между подачами 2 часа.

Груженые вагоны, технически пригодные и размеченные по прибытию на станции «М» под сдвоенные операции под конкретный род груза, после их выгрузки, осматривают и выполняют подготовку под погрузку в коммерческом отношении. Погрузка и выгрузка вагонов производится круглосуточно. Подача вагонов под бункеры производится вагонами вперед со стороны нечетной горловины станции. Погрузка может осуществляться одновременно на двух погрузочных бункерах (1, 2), но только на одном из путей каждого погрузочного бункера. Одновременно загружается и взвешивается только 1 вагон. Среднее время погрузки 1 вагона составляет 3,5 минуты. Продолжительность очистки бункера от груза и зарядки новым грузом составляет 45 минут.

Перед вагоноопрокидывателем находятся тензометрические весы, на которых производится взвешивание груженых вагонов. Фронт одновременной постановки составляет 9 вагонов, единовременной выгрузки 1 вагон. Подача вагонов на вагоноопрокидыватель производится вагонами вперед со стороны тупика. Заезд вагонотолкателя с платформой прикрытия или маневрового локомотива (с двумя вагонами прикрытия) под вагоны производится из тупика. Перед выгрузкой груженых вагонов производится их взвешивание на тензометрических весах, расположенных перед вагоноопрокидывателем, в движении. В зимнее время для разогрева вагонов со смерзающимися грузами используется теплогенераторная установка. После разогрева вагона в течение 5–20 минут вагон ставится под выгрузку и производится разогрев следующего вагона. Вместимость бункера разогрева – 3 вагона. Фронт разогрева – 1 вагон.

Формирование и отправление груженых передаточных составов (маршрутов), а также отдельных групп вагонов, не годных под погрузку, или груженых иными грузами, выполняется с приемоотправочных путей станции «М».

#### *Прогнозный объем работы*

На станции «М» расположено погрузочно-выгрузочное предприятие с объемом работы 450 вагонов в сутки (8 составов). В 2022 году планируется увеличение отгрузки готовой продукции и достижение уровня 620 вагонов в сутки (11 составов).

Отправка грузов, предъявляемых к перевозке, в большей степени осуществляется маршрутными и групповыми отправлениями. Маршрутизация составляет 95% от общего объема перевозимых грузов. Прибытие

порожних и груженых вагонов в адрес грузополучателя в большей степени осуществляется в многогруппных поездах при их формировании на территории Российской Федерации. В последние годы структура заадресовки порожнего подвижного состава, поступающего в адрес комбината, изменилась. В настоящее время вагонопоток приоритетно формируется на припортовых и сортировочных станциях Октябрьской железной дороги. Несмотря на то, что перспективные размеры отгрузки готовой продукции не превышают проектную мощность комбината, с учетом тенденции последних лет, когда возрастают объемы сортировочной работы с порожними вагонами, необходимо определение технического оснащения и технологического обеспечения потребного для освоения перспективной погрузки готовой продукции и возросшей, в связи с изменением рынка готовой продукции, маневровой работы по расформированию порожних передач которое целесообразно вести методом имитационного моделирования, учитывающим подробную технологию работы станции, включая маневровые передвижения [8].

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В настоящей статье применен метод имитационного моделирования. Имитационное моделирование дает возможность исследовать процесс функционирования системы транспортного обслуживания станции «М» посредством варьирования основной характеристики устройств – количества каналов: путей, погрузочных устройств станции и маневровых локомотивов.

Построение имитационной модели выполнено с использованием разработанного в проектном институте «Ленгипротранс» главным специалистом по организации движения и экономическим расчетам Ю.А. Бобровым и ведущим инженером-программистом В.А. Лосевой специализированного программного комплекса «Аврора». В модель заложена достаточно подробная технология работы станции, что важно для возможности учета рисков изменения порядка обслуживания, логистики и конкурентно-способности предприятия [9–16]. При этом рассчитаны: загрузка погрузочных бункеров 1 и 2, нечетной горловины, приемоотправочных и вытяжных путей станции «М», а также сортировочных путей маневрового района, занятие соединительного пути со станцией ОАО «РЖД» и загрузка работы маневровых локомотивов станции.

В объектные модели включены следующие категории и устройства:

*Категории:*

- порожние маршруты;
- сборные составы.

*Устройства:*

- маневровые локомотивы станции;
- вытяжной путь проектируемого маневрового района;
- вытяжной путь 2Т;
- вытяжные пути М5 и М3;
- погрузочный бункер 1;
- вагонопрокидыватель;
- приемоотправочный путь 16;
- приемоотправочный путь 15;
- пути 4п и 5п перед погрузочным бункером;
- пути 1п и 2п перед погрузочным бункером;
- приемоотправочный путь 3;
- приемоотправочный путь 6;
- приемоотправочный путь 7;
- приемоотправочный путь 8;
- приемоотправочный путь 9;
- нечетная горловина станции «М»;
- погрузочный бункер 2;
- соединительный путь между станцией ОАО «РЖД» и станцией «М»;
- соединительный путь на маневровый район;
- пути маневрового района;
- сортировочные пути маневрового района (проектируемые).

Зная реальное время занятия путей и устройств, можно определить требуемое и достаточное техническое и технологическое обеспечение железнодорожной станции, необходимое для ее стабильной работы. Задание диапазона продолжительности занятия путей позволяет избежать ошибок не учета максимального времени занятия пути и в тоже время отсутствует избыточность.

В результате обработки эмпирических данных с использованием пакета прикладной программы Статистика (Statistica), разработанного компанией StatSoft, получены выборочное среднее – 67 мин, среднеквадратическое отклонение – 14 мин и коэффициент вариации – 0,21 (выборка однородная) [17, 18].

Таким образом, в имитационную модель функционирования инфраструктуры железнодорожной станции может быть введено время занятия путей маневрового района равное 67 минутам с отклонением от среднего значения 14 минут. Накопление вагонов на сортировочных путях маневрового района моделируется в программе, время занятия остальных путей не отличается от нормативного и принято в соответствии с технологическим процессом станции.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате различных экспериментов с моделью транспортной системы станции «М», установлено, что для освоения перспективного поездопотока необходимо построить шесть путей маневрового района. В ходе дальнейших экспериментов определено необходимое количество маневровых локомотивов станции «М». В Табл. 1 и на Рис. приведены результаты экспериментов по моделированию работы транспортной системы станции «М» при различном соотношении составов без переработки и с переработкой.

Таблица 1. Результаты экспериментов по моделированию работы транспортной системы станции «М»

Количество локомотивов	Обработано составов		
	Всего	Без переработки	С переработкой (расформировано)
7	11	0	11
7	11	1	10
7	11	2	9
7	10	0	10
7	10	1	9
7	10	2	8
6	9	0	9
6	9	1	8
6	9	2	7

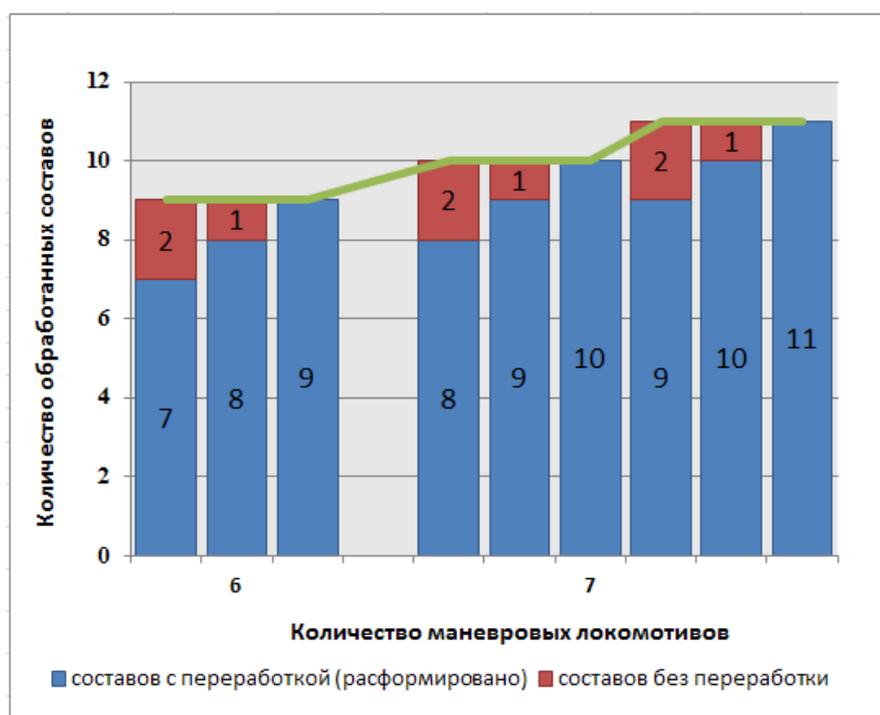


Рис. Результаты экспериментов по моделированию работы транспортной системы станции «М»

## АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

В результате выполнения различных экспериментов с имитационной моделью работы станции «М», выявлено, что для ее стабильной работы на заданные объемы работы потребуется строительство шести новых путей, а также потребуется еще один маневровый локомотив. Разработанная имитационная модель позволяет ответить еще на многие вопросы, связанные с эксплуатацией станции, для чего могут быть проведены дополнительные серии экспериментов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в статье предложен порядок определения технического оснащения и технологического обеспечения путей необщего пользования, на примере станции «М». Определение потребного развития железнодорожной инфраструктуры других путей необщего пользования может вестись, вышеизложенным порядком.

### Авторы заявляют что:

1. У них нет конфликта интересов;
2. Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / References

1. Benin A, Guzijan-Dilber M, Diachenko L, Semenov A. Finite element simulation of a motorway bridge collapse using the concrete damage plasticity model. *E3S Web of Conferences*. 2020;157:06018. doi: 10.1051/e3sconf/202015706018
2. Maznev AS, Kiselev IG, Ivanov IA, Kiselev AA. A Simulation Model of a Servo System of a Regenerative-Resistor Braking of a DC Electric Train. *Russian Electrical Engineering*. 2018;89(10):592-597. doi: 10.3103/S1068371218100061
3. Nikitin VV, Sychugov AN, Rolle IA, Vikulov IP. Calculations of the Parameters and Simulation of the Operation of Nonlinear Surge Arresters for AC Rolling Stock. *Russian Electrical Engineering*. 2020;91(2):87-92. doi: 10.3103/S1068371220020078
4. Perminov N, Perminov A. Simulation of strain-stress behavior of a tunnel collector in the combined anthropogenic effects conditions. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018;456(1):012083. doi: 10.1088/1757-899X/456/1/012083
5. Zhuravleva N, Guliy I, Shavshukov V. Simulation modeling of changes in demand for rail transportation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2018;403(1):012230. doi: 10.1088/1755-1315/403/1/012230
6. Perminov, N. Unsteady interaction simulation of a large RC shell with heterogeneous soil milieu for a gradually increasing caisson structure. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018;456(1):012059. doi:

- 10.1088/1757-899X/456/1/012059
7. Zaitsev AA, Rolle IA., Evstaf'eva MV, et al. Determination of the Energy Indices of Alternating Current Electric Rolling Stock Using Computer Simulation. *Russian Electrical Engineering*, 2018;89(10):612-616. doi: 10.3103/S1068371218100115
  8. Грошев Г.М., Котенко А.Г., Сугоровский А.В., Сугоровский А.В. Регулирование подвода транзитных и разборочных грузовых поездов к техническим станциям // Транспортные системы и технологии. – 2018. – Т. 4. – № 1. – С. 094–104. [Groshev GM, Kotenko AG, Sugorovsky AV, Sugorovsky AV. Regulation of the supply of transit and de-construction of freight trains to the technical stations. *Transportation Systems and Technology*. 2018;4(1):094-104. (Russ., Engl.)]. doi: 10.17816/transsyst2018041094-104
  9. Fan Q, Jin Y, Wang W, Yan X. A performance-driven multi-algorithm selection strategy for energy consumption optimization of sea-rail intermodal transportation. *Swarm and Evolutionary Computation*. 2019;(44):1-17. ISSN 2210-6502. doi: 10.1016/S2210650218300701
  10. Caterina C, Cristian G, Giovanni L, et al. Integration of BPMN Modeling and Multi-actor AHP-aided Evaluation to Improve Port Rail Operations. *Transportation Research Procedia*. 2021;(52):139-146. doi: 10.1016/S2352146521000296
  11. Zhang Q, Wang W, Peng Y, Guo Z. Impact of rail transport services on port competition based on a spatial duopoly model. *Ocean & Coastal Management*. 2017;(148):113-130, ISSN 0964-5691. doi: 10.1016/S0964569116304148
  12. Ferrari P. Some necessary conditions for the success of innovations in rail freight transport, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 2018;(118):747-758. ISSN 0965-8564. doi: 10.1016/S0965856418307286
  13. Kurtuluş E, Çetin İB. Analysis of modal shift potential towards intermodal transportation in short-distance inland container transport. *Transport Policy*. 2020;(89):24-37. doi: 10.1016/S0967070X19300022
  14. Jose Prata, Elisabete Arsenio, Assessing intermodal freight transport scenarios bringing the perspective of key stakeholders, *Transportation Research Procedia*, Volume 25, 2017, Pages 900-915, ISSN 2352-1465. doi: 10.1016/S235214651730772X
  15. Adler N, Brudner A, Proost S. A review of transport market modeling using game-theoretic principles, *European Journal of Operational Research*. 2021;291(3):808-829, ISSN 0377-2217. doi: 10.1016/S0377221720309668
  16. Pokrovskaya O, Reshetko N, Kirpicheva M, et al. The study of logistics risks in optimizing the company's transportation process (2019) IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 698(6)066060. doi: 10.1088/1757-899X/698/6/066060
  17. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: Учебник для студентов высших технических учебных заведений / Е.С. Вентцель. – двенадцатое издание, стереотипное. – М.: Юстиция, 2018. – 658 с. – ISBN 9785436519272. [Ventcel' ES. Teoriya veroyatnostej: Uchebnik dlya studentov vysshih tekhnicheskikh uchebnyh zavedenij. Moscow: Yusticiya; 2018. 658 p. (In Russ.)].
  18. Рублева Г.В. Математическая статистика: статистические критерии проверки гипотез: учеб.-метод. пособие для студентов очной формы обучения технических и инженерных специальностей. – Тюмень: ТюмГУ, 2014. – 50 с. [Rubleva GV. Matematicheskaya statistika: statisticheskie kriterii proverki gipotez: ucheb.-metod. posobie dlya studentov ochnoj formy obucheniya tekhnicheskikh i inzhenernyh special'nostej. Tyumen': TyumGU; 2014. 50 p. (In Russ.)].

**Сведения об авторах:****Сугоровский Артем Васильевич**, к.т.н.;

телефон: +7(960)2855139; адрес: 196608, Санкт-Петербург, г. Пушкин ул.

Оранжерейная, д. 73;

eLibrary SPIN: 5575-3221; ORCID: 0000-0001-6955-814X;

E-mail: c123945@yandex.ru

**Information about the authors:****Artyom V. Sugorovsky**, Candidate of Engineering Science;

phone: +7(960)2855139; address: 196608, Санкт-Петербург, г. Пушкин ул.

Оранжерейная, д. 73;

eLibrary SPIN: 5575-3221; ORCID: 0000-0001-6955-814X;

E-mail: c123945@yandex.ru

**Цитировать:**

Сугоровский А.В. Обоснование развития железнодорожной инфраструктуры путей необщего пользования с применением метода имитационного моделирования // Транспортные системы и технологии. – 2022. – Т. 8. – № 1. – С. 115–123. doi: 10.17816/transsyst202281115-123

**To cite this article:**

Sugorovsky AV. Justification of the development of the railway infrastructure of non-public tracks using the method of simulation modeling. *Transportation Systems and Technology*. 2022;8(1):115-123. doi: 10.17816/transsyst202281115-123