

DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-1-181-196  
УДК 656.021.5



## РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ И АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АЛГОРИТМА РАСЧЁТА ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ

*О.Д. Покровская, М.А. Марченко, Я.В. Кукушкина*

**Состояние вопроса.** Проблематика данной работы заключается в разработке методики расчёта наличной пропускной способности, в основу которой заложены известные формулы расчёта наличной пропускной способности, главным нововведением которых является учёт времени, затрачиваемого поездами на разгон и замедление в пути следования. В настоящее время в процессе расчёта наличной пропускной способности используется формальный подход к определению коэффициентов съёма, а также принимается в расчёт участковая скорость, рассчитываемая с учётом разгонов и замедлений, но представляющая собой лишь отношение длины определённого участка железнодорожного полигона к времени следования по нему поезда.

**Материалы и/или методы исследования:** имитационное моделирование, экономико-математическое моделирование, программный комплекс *ApuLogic*, методы общей теории систем, логистики.

**Результаты.** Предложена аналитическая формула, позволяющая с более высокой точностью производить вычисления наличной пропускной способности. Результаты исследования могут быть использованы в диспетчерских центрах управления перевозками ОАО «РЖД» с целью более полного анализа работы полигона дороги, железнодорожных линий или отдельных участков с целью более полного анализа выполненной работы по перевозкам.

**Заключение.** В статье разработана методика расчёта наличной пропускной способности на железнодорожной линии с полным

учётom влияния разгонов и торможений поездов в пути их следования на результирующую наличную пропускную способность.

**Ключевые слова:** железнодорожный полигон; пропускная способность; межпоездной интервал; непараллельный график движения; скорость движения

**Для цитирования.** Покровская О.Д., Марченко М.А., Кукушкина Я.В. Разработка математической модели и автоматизированного алгоритма расчёта пропускной способности // *International Journal of Advanced Studies*. 2023. Т. 13, № 1. С. 181-196. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-1-181-196

## DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL AND AN AUTOMATED ALGORITHM FOR CALCULATING THROUGHPUT

***O.D. Pokrovskaya, M.A. Marchenko, Ya.V. Kukushkina***

**Background.** *The problem of this work is to develop a methodology for calculating cash throughput, which is based on the well-known formulas for calculating cash throughput, the main innovation of which is to take into account the time spent by trains on acceleration and deceleration en route. Currently, in the process of calculating the available capacity, a formal approach is used to determine the removal coefficients, and the site speed is also taken into account, calculated taking into account acceleration and deceleration, but representing only the ratio of the length of a certain section of the railway polygon to the time of the train following it.*

**Materials and/or methods:** *simulation modeling, economic and mathematical modeling, AnyLogic software package, methods of general systems theory, logistics.*

**Results.** *An analytical formula is proposed that allows calculating the available throughput with higher accuracy. The results of the study can be used in the dispatch centers of transportation management of*

*JSC “Russian Railways” in order to more fully analyze the operation of the landfill of the road, railway lines or individual sections in order to more fully analyze the work performed on transportation.*

**Conclusion.** *The article develops a methodology for calculating the available capacity on a railway line with full consideration of the effect of acceleration and braking of trains on their way to the resulting available capacity.*

**Keywords:** *railway polygon; capacity; train interval; non-parallel traffic schedule; traffic speed*

**For citation.** *Pokrovskaya O.D., Marchenko M.A., Kukushkina Ya.V. Development of a Mathematical Model and an Automated Algorithm for Calculating Throughput // International Journal of Advanced Studies, 2023, vol. 13, no. 1, pp. 181-196. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-1-181-196*

Проблематика данной работы заключается в разработке методики расчёта наличной пропускной способности, в основу которой заложены известные формулы расчёта наличной пропускной способности, главным нововведением которых является учёт времени, затрачиваемого поездами на разгон и замедление в пути следования. В настоящее время в процессе расчёта наличной пропускной способности используется формальный подход к определению коэффициентов съёма, а также принимается в расчёт участковая скорость, рассчитываемая с учётом разгонов и замедлений, но представляющая собой лишь отношение длины определённого участка железнодорожного полигона к времени следования по нему поезда. В работе предлагается комплексная методика определения участковой скорости с дифференцированием расстояний проследуемых поездом участков по времени как при разгоне, так и при замедлении. Результаты предложенной методики позволяют с большей точностью определить пропускную способность железнодорожной линии, что в свою очередь позволяет оптимизировать эксплуатационные расходы на техническое

обслуживание и текущий ремонт железнодорожной инфраструктуры и подвижного состава.

В работе представлена существующая формула расчёта наличной пропускной способности, показана её связь с участковой скоростью и представлен подробный её расчёт по предложенной методике. Результаты расчётов верифицированы имитационным моделированием в программном комплексе AnyLogic.

### **Анализ научной литературы рассматриваемой проблематики**

В работе под названием «Особенностей определения пропускной способности двухпутных участков» специалистом в области железнодорожного транспорта Ж. Я. Абдуллаевым была рассмотрена проблематика повышения точности и эффективности расчёта пропускной способности на железнодорожных линиях. В его работе представлена подробная классификация используемых в настоящее время способов определения пропускной способности железнодорожных линий (аналитический, графоаналитический и метод имитационного моделирования). Автором приведены и подробно проанализированы аналитические формулы, используемые для вычисления значений наличной пропускной способности и рассмотрены ограничения (отсутствие пересечения на графике грузового и высокоскоростного поезда во встречном движении). В работе присутствует научная новизна в виде нового способа прокладки ниток графика что позволяет обеспечить пропуск большее количество поездов и повысить наличную пропускную способность. Серьёзным недостатком в работе является отсутствие имитационной модели, что не позволяет наглядно продемонстрировать движение поездов и верифицировать полученные результаты [1].

Кандидат физико-математических наук Бобрик Пётр Петрович в своей работе под названием «Интеллектуализация управления движением при транзите на транспорте» [2] рассматривал движе-

ние транспортных средств по специализированным ниткам графика и скорость возрастания заторов на основе методики применения систем массового обслуживания. Научной новизной работе является понятие плотности потока. В рамках железнодорожного транспорта данное исследование применимо в рамках определения задержек поездов при обгонах и скрещении, а также обеспечении минимального межпоездного интервала и влияния этих факторов на результирующую пропускную способность по всему железнодорожному полигону. В работе выявлена скорость возрастания заторов, приводящая к снижению пропускной способности железнодорожной линии и полигона в целом. Автором предложена формула расчёта увеличения среднего времени простоя, для снижения которых предложена идея проектирования резервных станций, расстояние между которыми находится в связке с показателем плотности потока и обратно пропорционально ему. В ходе исследований были получены данные о неизбежном снижении резервных мощностей при исчерпании пропускной способности железнодорожного полигона. Данная статья может быть полезной для настоящей работы наличием формул, описывающих возрастание заторов на железнодорожном пути.

Следует также упомянуть о работе зарубежного автора. В своей статье под названием «Визуальное интерактивное моделирование и имитационное моделирование как поддержка принятия решений в логистических операциях железнодорожного транспорта» специалист в области железнодорожного высокоскоростного движения Влатко Черич [3] рассмотрел проблему определения пропускной способности железнодорожной линии с применением инструментов интерактивного моделирования существующего железнодорожного полигона в Боснии от Венгрии через Хорватию. В ходе выполнения исследований автором была построена имитационная модель, наглядно отражающая работу железнодорожного комплекса, направленную на бесперебойный пропуск поездов и обслуживание пассажиров. Модель позволяет

произвести комплексную оценку этой работы и получить данные по количеству пропущенных пар поездов в течение заданного промежутка времени. Модели выполнены в программной среде ServiceModel, позволяющей помимо интерактивного производить построение модели в режиме планирования, что позволяет в случае реализации данной модели в подобном режиме производить прогнозирование размеров движения и на основе полученных данных производить построение плана формирования поездов.

Работы по расчёту пропускной способности железнодорожных магистралей также представлены в работах [5-10], а также в иностранных литературных источниках [11-17].

### **Анализ существующих методов расчёта пропускной способности**

В настоящее время для определения наличной пропускной способности железнодорожных линий используется общеизвестная формула (1) [4], приведённая ниже.

$$N_{\text{нал}} = \frac{(1440 - t_{\text{техн}})}{I_p} \cdot \alpha_n, \quad (1)$$

где  $t_{\text{техн}}$  – бюджет времени на содержание и ремонт инфраструктуры;

$I_p$  – расчётный межпоездной интервал;

$\alpha_n$  – коэффициент надёжности работы инфраструктуры и подвижного состава, принимаем равным 0,96 [1];

Межпоездной интервал формулы (1) определяем по формуле 2: [1]

$$I_p = \frac{0,5 \cdot L_{n2} + L_{бл1} + L_{бл2} + 0,5 \cdot L_{n1}}{V_{\text{ср}} \cdot 16,7} + t_B, \quad (2)$$

где  $L_{n1}$ ,  $L_{n2}$  – длина соответственно впереди и позади идущего поезда;

$L_B$  – расстояние которое проходит второй поезд за время, необходимое для восприятия машинистом сигнала ближнего светофора;

$L_{бл1}$ ,  $L_{бл2}$  – длина соответственно первого и второго по счёту блок-участков относительно впереди идущего поезда;

$V_{\text{ср}}$  – средняя скорость следования поездов по блок – участкам;

$t_b$  – время на восприятие изменения показания светофора, принимаем равным 0,05 мин.

При расчётах значение по формуле (2) получают, опираясь на данные о средней скорости следования поезда по участку, куда входит время на разгон, замедление и стоянки, но при этом происходит его обобщение, в результате чего расчётный результат может отличаться от фактического. Предлагаемая методика позволяет свести данное расхождение к минимуму, что позволит получить расчётный результат, наиболее приближенный к фактическому.

Уравнение движения поезда можно представить следующим образом в дифференциальном виде.

$$S_{\text{общ}} = \frac{dv}{dt} \cdot t_{\text{разг}} + v_{\text{пост}} \cdot t_{\text{пост}} + \frac{dv}{dt} \cdot t_{\text{зам}}; \text{ при } t_{\text{разг}} + t_{\text{пост}} + t_{\text{зам}} = t_{\text{общ}} \quad (3)$$

где  $\frac{dv}{dt}$  – показатель скорости изменения перемещения поезда за промежуток времени;

$t_{\text{разг}}$  – временные затраты на увеличение скорости;

$v_{\text{пост}}$  – скорость следования поезда при отсутствии её изменения;

$t_{\text{пост}}$  – временные затраты на перемещение поезда с постоянной скоростью;

$t_{\text{зам}}$  – временные затраты на снижение скорости.

Определим временные затраты на следование поезда без изменения скорости. В качестве исходных данных примем общее расстояние пути следования, а также временных затрат на преодоление заданного расстояния и времени на разгон и замедление. Выполним расчёт средней скорости поезда в пути следования (9):

$$v_{\text{ср}} = \frac{S_{\text{общ}}}{t_{\text{общ}}} \quad (9)$$

$$t_{\text{уск ср}} = \frac{v_{\text{ср}}}{a}, \quad (10)$$

где  $a$  – ускорения поезда, м/с<sup>2</sup>.

$$t_{\text{зам ср}} = \frac{v_{\text{ср}}}{b}, \quad (11)$$

где  $b$  – замедление поезда, м/с<sup>2</sup>.

Приравниваем значение средней скорости к максимальной при неизменных значениях времени разгона и замедления поезда.

$$t_{\text{ср}} = t_{\text{общ}} - t_{\text{уск ср}} - t_{\text{зам ср}}. \quad (12)$$

Находим преодоленный путь в течение каждого отрезка времени по формулам 13 и 14:

$$S_{\text{уск ср}} = \frac{a \cdot t_{\text{уск ср}}^2}{2}, \quad (13)$$

$$S_{\text{зам ср}} = \frac{b \cdot t_{\text{зам ср}}^2}{2}. \quad (14)$$

Вычисляем расстояние, которое могло бы быть пройдено поездом в случае его движения со средней скоростью в качестве максимальной:

$$S_{\text{ср}} = v_{\text{ср}} \cdot t_{\text{ср}}. \quad (15)$$

Общая протяжённость пути в таком случае может быть рассчитана по формуле (16):

$$S_{\text{расч}} = S_{\text{уск ср}} + S_{\text{ср}} + S_{\text{зам ср}}. \quad (16)$$

Находим коэффициент погрешности представляющее собой отношение фактической максимальной скорости к средней. Определим его через коэффициент погрешности, приведённый в формуле (17):

$$K_{\text{погр}} = \left(1 - \frac{S_{\text{расч}}}{S_{\text{общ}}}\right). \quad (17)$$

Далее определяем долю найденной по формуле (17) коэффициента погрешности во временах разгона и замедления поездов по формулам (18–19):

$$K_{\text{разг}} = \frac{K_{\text{погр}} \cdot b}{(a+b)}; \quad (18)$$

$$K_{\text{зам}} = \frac{K_{\text{погр}} \cdot a}{(a+b)}; \quad (19)$$

Производим вычисление доли погрешности в расстоянии следования при разгоне, неизменной скорости и замедлении по формулам (20–22):

$$K_{\text{расст разг}} = \frac{S_{\text{расч}}}{S_{\text{общ}}} + K_{\text{разг}}; \quad (20)$$

$$K_{\text{расст пост}} = \frac{S_{\text{расч}}}{S_{\text{общ}}} - K_{\text{погр}}; \quad (21)$$

$$K_{\text{расст зам}} = \frac{S_{\text{расч}}}{S_{\text{общ}}} + K_{\text{зам}}; \quad (22)$$



где  $K_{\text{расст разг}}$ ,  $K_{\text{расст пост}}$ ,  $K_{\text{расст зам}}$  – коэффициент погрешности расстояния следования соответственно разгона, постоянной скорости и замедления.

После того, как рассчитаны все коэффициенты погрешности, по формулам (23–25) рассчитываем пройденные расстояние во время разгона, с постоянной скоростью и торможения. Суммарное значение полученных результатов должно быть идентичным расстоянию маршрута следования поезда.

$$S_{\text{разг}} = S_{\text{общ}} \cdot K_{\text{расст разг}}; \quad (23)$$

$$S_{\text{сп}} = S_{\text{общ}} \cdot K_{\text{расст пост}}; \quad (24)$$

$$S_{\text{зам}} = S_{\text{общ}} \cdot K_{\text{расст зам}}; \quad (25)$$

По формуле (26) производим расчёт максимальной скорости поезда в пути следования (26):

$$V_{\text{max}} = a \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot S_{\text{разг}}}{a}}. \quad (26)$$

Полученное значение подставляем в общеизвестную используемую в формулу расчёта межпоездного интервала:

$$I_{\text{р max}} = \frac{0,5 \cdot L_{\text{п2}} + L_{\text{бл1}} + L_{\text{бл2}} + 0,5 \cdot L_{\text{п1}}}{V_{\text{max}} \cdot 16,7} + t_{\text{в}}; \quad (20)$$

С помощью данной формулы возможно рассчитывать значение наличной пропускной способности на железнодорожном полигоне, на котором применяется непараллельный график движения поездов. Вычисление наличной пропускной способности на участках, на которых поезд движется с ускорением или замедлением, выполняется отдельно.

Для определения межпоездного интервала между поездами в момент разгона производим интегрирование расчётной формулы по переменной в качестве скорости с её изменением от значения, приближённого к нулю до максимальной скорости, которую достигает поезд в пути следования.

$$I_{\text{р разг(зам)}} = \int_0^{v_{\text{max}}} \left( \frac{0,5 \cdot L_{\text{п2}} + L_{\text{бл1}} + L_{\text{бл2}} + 0,5 \cdot L_{\text{п1}}}{V_{\text{max}} \cdot 16,7} + t_{\text{в}} \right) dv = 69,9 \cdot t_{\text{в}} + \\ + 0,20 \cdot L_{\text{п2}} + 0,39 \cdot L_{\text{бл1}} + 0,39 \cdot L_{\text{бл2}} + 0,20 \cdot L_{\text{п1}} \quad (21)$$

Расчёт выполняется отдельно для разгона и замедления в соответствии с формулой (21).

Обобщённая формула имеет вид (22):

$$I_p = \frac{I_{p \text{ разг}}}{t_{\text{разг}}} + \frac{I_{p \text{ max}}}{t_{\text{пост}}} + \frac{I_{p \text{ зам}}}{t_{\text{зам}}}. \quad (22)$$

Представленная в работе методика расчёта наличной пропускной способности, основанная на преобразовании существующих формул, повышает точность производимых вычислений. Она может найти наиболее широкое применение при расчёте пропускной способности на железнодорожных линиях с непараллельным графиком движения поездов по причине наличия возможности в полном объёме учитывать при расчёте временные затраты на разгон и замедление следующих по железнодорожной линии поездов. В дальнейшем возможно ее применение при технико-экономическом обосновании этапов наращивания пропускной способности транспортных коридоров и магистралей [18-20], а также использование расчетного аппарата при цифровизации работы железных дорог [21-23].

### *Список литературы*

1. Абдуллаев Ж.Я. Особенности определения пропускной способности двухпутных участков // Изв. Петерб. ун-та путей сообщения. СПб. : ПГУПС, 2019. вып. 3.
2. Бобрик П.П. Интеллектуализация управления движением при транзите на транспорте. СПб.: Материалы всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Технологии построения когнитивных транспортных систем», 2021.
3. Vlatko Čerić. Visual interactive modeling and simulation as a decision support in railway transport logistic operations. Roma, Italy: Mathematics and Computers in Simulation, Volume 44, Issue 3, 1997, pp. 251-261.
4. Инструкция по расчёту наличной пропускной способности. Утв. Распоряжением ОАО «РЖД» от 16.11.2010 г. № 128. М. : ОАО «РЖД», 2011. 305 с.

5. Покровская О.Д. Состояние транспортно-логистической инфраструктуры для угольных перевозок в России // Инновационный транспорт. 2015. № 1 (15). С. 13-23.
6. Покровская О.Д. О терминологии объектов терминально-складской инфраструктуры // Мир транспорта. 2018. Т. 16. № 1 (74). С. 152-163.
7. Покровская О.Д. Логистическая классность железнодорожных станций // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2018. № 2 (38). С. 68-76.
8. Покровская О.Д. Логистические накопительно-распределительные центры как основа терминальной сети региона. Монография. Новосибирск, 2012. 184 с.
9. Покровская О.Д. Логистические транспортные системы России в условиях новых санкций // Бюллетень результатов научных исследований. 2022. № 1. С. 80-94.
10. Котенко А. Г., Бадецкий А. П., Васильев А. Б. Организация поездной работы на участках железной дороги учебного центра управления перевозками. СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2016. 41 с.
11. Estelle Altazin, Stéphane Dauzère-Pérès, François Ramond, Sabine Tréfond. A multi-objective optimization-simulation approach for real time rescheduling in dense railway systems. Leeds, UK: European Journal of Operational Research, Volume 286, Issue 2, 2020, pp. 662-672.
12. Atieh Kianinejadoshah, Stefano Ricci. Comparative Application of Analytical and Simulation Methods for the Combined Railway Nodes-Lines Capacity Assessment. Rome, Italy: Transportation Research Procedia, Volume 55, 2021, pp. 103-109.
13. Ivica Ljubaj, Matea Mikulčić, Tomislav Josip Mlinarić. Possibility of Increasing the Railway Capacity of the R106 Regional Line by Using a Simulation Tool. Rome, Italy: Transportation Research Procedia, Volume 44, 2020, pp. 137-144.
14. Xin Zhang, Lei Nie. Integrating capacity analysis with high-speed railway timetabling: A minimum cycle time calculation model with flexible overtaking constraints and intelligent enumeration. Pekin,

- China: Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Volume 68, 2016, pp. 509-531.
15. C.H. Cheng, C.L. Chow, W.K. Chow. A simulation study of tenability for passengers in a railway tunnel with arson fire. Hong Kong, China: Tunnelling and Underground Space Technology, Volume 108, 2021.
  16. Josef Bulíčka, Pavel Drdla, Jaroslav Matuška. Operational Reliability of a Periodic Railway Line. Rome, Italy: Transportation Research Procedia, Volume 53, 2021, pp. 106-113.
  17. Johan Högdahl, Markus Bohlin, Oskar Fröidh. A combined simulation-optimization approach for minimizing travel time and delays in railway timetables. Stockholm, Sweden: Transportation Research Part B: Methodological, Volume 126, 2019, pp. 192-212.
  18. Мохонько В.П., Исаков В.С., Куренков П.В. Ситуационное управление перевозочным процессом // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2004. № 11. С. 14.
  19. Мохонько В.П., Исаков В.С., Куренков П.В. Проблемы создания ситуационно-аналитической системы управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте// Бюллетень транспортной информации. 2004. № 9. С. 22.
  20. Формирование системы финансового менеджмента: теория, опыт, проблемы, перспективы/ Коллективная монография: Сафронова А.А., Рудакова Е.Н., Куренков П.В. и др. Москва, 2018. 228 с.
  21. Дроздова М.А. Международные санкции как средства регулирования мировой экономики // В сборнике: Инновационные подходы развития экономики и управления в XXI веке. Сборник трудов III Национальной научно-практической конференции. Федеральное агентство железнодорожного транспорта, ФГБОУ ВО ПГУПС, 2020. С. 113-116.
  22. Дроздова М.А., Кравченко Л.А. Антиглобализм в контексте современного международного экономико-правового дискурса // Вестник Волжского университета им. В.Н. Татищева. 2020. Т. 1. № 3 (96). С. 247-253.

23. Дроздова М.А., Кравченко Л.А., Панков Д.А. Цифровая экономика и инфляция в период пандемии // Инновационные подходы развития экономики и управления в XXI веке. Сборник трудов III Национальной научно-практической конференции. ФГБОУ ВО ПГУПС, 2020. С. 11-14.

### *References*

1. Abdullaev Zh.Ya. Features of determining the capacity of double-track sections // *Izv. Petersburg. University of Communications. SPb.*, 2019. no. 3.
2. Bobrik P.P. Intellectualization of traffic control during transit in transport. St. Petersburg: Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference with international participation “Technologies for building cognitive transport systems”, 2021.
3. Vlatkocer. Visual interactive modeling and simulation as a decision support in railway transport logistics operations. Roma, Italy: *Mathematics and Computers in Simulation*, Volume 44, Issue 3, 1997, pp. 251-261.
4. Instructions for calculating the available throughput. Approved Order of Russian Railways OJSC dated November 16, 2010 No. 128. M. : Russian Railways OJSC, 2011. 305 p.
5. Pokrovskaya O.D. The state of transport and logistics infrastructure for coal transportation in Russia // *Innovative transport*. 2015. No. 1 (15). pp. 13-23.
6. Pokrovskaya O.D. On the terminology of objects of terminal and warehouse infrastructure // *World of Transport*. 2018. V. 16. No. 1 (74). pp. 152-163.
7. Pokrovskaya O.D. Logistic class of railway stations // *Bulletin of the Ural State University of Communications*. 2018. No. 2 (38). pp. 68-76.
8. Pokrovskaya O.D. Logistic storage and distribution centers as the basis of the region’s terminal network. Monograph. Novosibirsk, 2012. 184 p.
9. Pokrovskaya O.D. Logistic transport systems of Russia in the conditions of new sanctions // *Bulletin of the results of scientific research*. 2022. No. 1. S. 80-94.

10. Kotenko A. G., Badetsky A. P., Vasiliev A. B. Organization of train work on sections of the railway of the training center for transportation management. St. Petersburg, 2016. 41 p.
11. Estelle Altazin, Stéphane Dauzère-Pèrès, François Ramond, Sabine Trefond. A multi-objective optimization-simulation approach for real time rescheduling in dense railway systems. Leeds, UK: European Journal of Operational Research, Volume 286, Issue 2, 2020, pp. 662-672.
12. Atieh Kianinejadoshah, Stefano Ricci. Comparative Application of Analytical and Simulation Methods for the Combined Railway Nodes-Lines Capacity Assessment. Rome, Italy: Transportation Research Procedia, Volume 55, 2021, pp. 103-109.
13. Ivica Ljubaj, Matea Mikulčić, Tomislav Josip Mlinarić. Possibility of Increasing the Railway Capacity of the R106 Regional Line by Using a Simulation Tool. Rome, Italy: Transportation Research Procedia, Volume 44, 2020, pp. 137-144.
14. Xin Zhang, Lei Nie. Integrating capacity analysis with high-speed railway timetabling: A minimum cycle time calculation model with flexible overtaking constraints and intelligent enumeration. Beijing, China: Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Volume 68, 2016, pp. 509-531.
15. C.H. Cheng, C.L. Chow, W.K. Chow. A simulation study of tenability for passengers in a railway tunnel with arson fire. Hong Kong, China: Tunneling and Underground Space Technology, Volume 108, 2021.
16. Josef Buliceka, Pavel Drdla, Jaroslav Matuška. Operational Reliability of a Periodic Railway Line. Rome, Italy: Transportation Research Procedia, Volume 53, 2021, pp. 106-113.
17. Johan Högdahl, Markus Bohlin, Oskar Fröidh. A combined simulation-optimization approach for minimizing travel time and delays in railway timetables. Stockholm, Sweden: Transportation Research Part B: Methodological, Volume 126, 2019, pp. 192-212.
18. Mokhonko V.P., Isakov V.S., Kurenkov P.V. Situational management of the transportation process // Transport: science, technology, management. Scientific information collection. 2004. No. 11. P. 14.

19. Mokhonko V.P., Isakov V.S., Kurenkov P.V. Problems of creating a situational-analytical system for managing the transportation process in railway transport // Bulletin of transport information. 2004. No. 9. P. 22.
20. Formation of the financial management system: theory, experience, problems, prospects / Collective monograph: Safronova A.A., Rudakova E.N., Kurenkov P.V. and others. Moscow, 2018. 228 p.
21. Drozdova M.A. International sanctions as a means of regulating the world economy // In the collection: Innovative approaches to the development of economics and management in the XXI century. Proceedings of the III National Scientific and Practical Conference. Federal Agency for Railway Transport, 2020. pp. 113-116.
22. Drozdova M.A., Kravchenko L.A. Anti-globalism in the context of modern international economic and legal discourse // Bulletin of the Volga University. V.N. Tatishchev. 2020. Vol. 1. No. 3 (96). pp. 247-253.
23. Drozdova M.A., Kravchenko L.A., Pankov D.A. Digital economy and inflation during the pandemic // Innovative approaches to the development of economics and management in the XXI century. Proceedings of the III National Scientific and Practical Conference, 2020. pp. 11-14.

#### **ДАнные ОБ АВТОРАХ**

**О.Д. Покровская**, доктор технических наук, и.о. заведующего кафедрой «Управление эксплуатационной работой»  
*Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I  
пр-т Московский, 9, г. Санкт-Петербург, 190031, Российская Федерация  
insight1986@inbox.ru*

**М.А. Марченко**, аспирант кафедры «Управление эксплуатационной работой»  
*Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I*

*пр-т Московский, 9, г. Санкт-Петербург, 190031, Российская Федерация*

**Я.В. Кукушкина**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Управление эксплуатационной работой»  
*Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I*  
*пр-т Московский, 9, г. Санкт-Петербург, 190031, Российская Федерация*

#### **DATA ABOUT THE AUTHORS**

**O.D. Pokrovskaya**, Doctor of Technical Sciences, Acting Head of the Department “Operational Work Management”  
*Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University*  
*9, Moskovsky Ave., St. Petersburg, 190031, Russian Federation*  
*insight1986@inbox.ru*

**M.A. Marchenko**, Postgraduate student of the Department “Operational Work Management”  
*Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University*  
*9, Moskovsky Ave., St. Petersburg, 190031, Russian Federation*

**Ya.V. Kukushkina**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department “Operational Work Management”  
*Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University*  
*9, Moskovsky Ave., St. Petersburg, 190031, Russian Federation*

Поступила 10.01.2023  
После рецензирования 25.01.2023  
Принята 30.01.2023

Received 10.01.2023  
Revised 25.01.2023  
Accepted 30.01.2023