

К вопросу устойчивости работы сортировочных устройств станций местных линий

С. Б. Сатторов¹, А. Г. Котенко²

¹Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

²Институт проблем транспорта им. Н. С. Соломенко Российской академии наук, Российская Федерация, 199178, Санкт-Петербург, 12-я линия В.О., 13

Для цитирования: Сатторов С. Б., Котенко А. Г. К вопросу устойчивости работы систем сортировочных устройств станций местных линий // Бюллетень результатов научных исследований. — 2022. — Вып. 3. — С. 118–127. DOI: 10.20295/2223-9987-2022-3-118-127

Аннотация

В статье рассматривается подход к оценке основных условий устойчивости, связанных с поддержанием равенства входящих и выходящих вагонопотоков, а также с условиями свободности путей в парках сортировочных систем местных линий. **Методы:** Задача решается с помощью математического анализа, теории вероятностей и теории нечетких множеств. **Результаты:** Исследование вероятностей прибытия поездов с местным грузом в расформирование приводит к выводу, что составы с вагонами более двух назначений являются нормой. Проведенные расчеты показывают, что в сортировочной системе станции местной линии в каждый момент времени должно быть свободно не менее трех путей с учетом интенсивности прибывающих и отправляемых поездов. **Практическая значимость:** Предложенный подход позволяет уточнить оценку устойчивости работы сортировочных устройств станций и повысить надежность выполнения установленных сроков доставки грузов.

Ключевые слова: Сортировочная система, путевое развитие, вагонопоток, срок доставки.

Введение

Устойчивая работа сортировочных устройств железнодорожных станций определяет результативность перевозочного процесса [1, 2]. При увеличивающемся объеме грузоперевозок в нынешних условиях исключительно равномерная работа технологических линий сортировочных систем дает вероятность реализации нормативных простоев вагонов [3]. Это возможно при модернизации технологии и технического оснащения системы, а также применения резервов. Сортировочная система специализирована для массового расформирования и формирования составов [4, 5]. Однако появляются заметные межстанционные простои при малой мощности сортировочных устройств, непроизводительной организации обработки составов и передвижения вагонов, а также неравномерном поступлении, которые приводят к снижению перерабатывающей способности станции, увеличению оборота вагонов, и в итоге это обеспечивает негативное действие на себестоимость перевозок.

Устойчивость работы сортировочных устройств на любом выбранном моменте характеризуется ритмичным подходом и отправлением готовых составов и объемами переработки, режимом работы станции [6, 7].

Одной из актуальных проблем является разработка методов математического моделирования работы сортировочных устройств с целью анализа эффективности [8–10], устойчивости и надежности их функционирования при действии случайных факторов.

Таким образом, в расчетах для сортировочных устройств устанавливаются следующие показатели: 1) пропускная способность сортировочных устройств; 2) провозная способность сортировочных устройств. Значительное влияние оказывает длина перерабатываемых грузовых поездов на сортировочной станции [11]. Пути станции должны обеспечивать не только беспрепятственный прием поездов, также должны иметь необходимую пропускную и провозную способность. На практике длина прибывающих грузовых поездов имеет разные значения: от одиночных локомотивов и до 71 вагона условных единиц исходя из полезной длины путей станции. С увеличением количества вагонов или веса составов в прибывающих грузовых поездах возрастает время их приема на станцию [11], также снижается скорость движения по сортировочным устройствам.

Постановка задачи

Сортировочная система (СС) состоит из парка приема (ПП), сортировочного парка (СП) и парка отправления (ПО) (рис. 1).

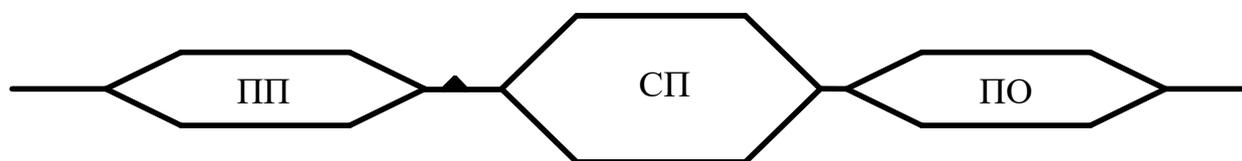


Рис. 1. Схема сортировочной системы

Основным условием устойчивости работы СС (рис. 2) является то, что выходящий поток должен быть равен входящему потоку:

$$n_{\text{отп}} = n_{\text{пр}}, \quad n_{\text{отп}} = N_{\text{п}}^{\text{отп}} n_{\text{с}}^{\text{отп}} \quad \text{и} \quad n_{\text{пр}} = N_{\text{п}}^{\text{пр}} n_{\text{с}}^{\text{пр}},$$

где $n_{\text{отп}}$, $n_{\text{пр}}$ — общее количество отправляемых и прибывающих вагонов, ваг.;
 $N_{\text{п}}^{\text{отп}}$, $N_{\text{п}}^{\text{пр}}$ — количество отправляемых и прибывающих поездов на СС, поезд;
 $n_{\text{с}}^{\text{отп}}$, $n_{\text{с}}^{\text{пр}}$ — количество вагонов в составе отправляемых и прибывающих поездов, ваг.



Рис. 2. Схема работы сортировочной системы

Если число отправляемых поездов меньше, чем число прибывающих $N_{\text{п}}^{\text{отп}} < N_{\text{п}}^{\text{пр}}$, тогда состав отправляемых поездов должен быть длиннее, чем состав прибывающих поездов $n_{\text{с}}^{\text{отп}} > n_{\text{с}}^{\text{пр}}$.

Но это условие не обеспечивает устойчивости работы сортировочных устройств, поскольку на практике зависит от условий свободности путей в ПП, СП и ПО. В таком случае нужно найти необходимое количество требуемых путей для устойчивой работы сортировочной системы.

Задача определения потребного путевого развития, далее, и перерабатывающей способности СС интерпретируется актуальной для всех этапов развития железнодорожных станций [12]. Таким образом, нехватка станционных путей приводит к задержкам поездов у входного сигнала, простоям на прилегающих раздельных пунктах или бросанию поезда по неприему [13].

Количество путей в парках рассчитывается согласно инструкции по проектированию станций и узлов на железных дорогах. ПП состоит из $m_{\text{пп}}$ путей, СП из $m_{\text{сп}}$ путей и ПО — из $m_{\text{по}}$ путей.

В ПП принимается поезд в расформирование с интервалом прибытия $I_{\text{пр}}$. Пути в ПП могут быть занятыми $m_{\text{пп}}^3$ и свободными $m_{\text{пп}}^{\text{с}}$:

$$m_{\text{пп}} = m_{\text{пп}}^{\text{с}} + m_{\text{пп}}^3, \text{ путей.}$$

Поезд в ПП находится $t_{\text{пп}}$ времени, которое исчисляется суммированием ожидания технического обслуживания $t_{\text{то}}^{\text{ож}}$, длительности технического обслуживания $t_{\text{то}}$ и ожидания расформирования $t_{\text{рас}}^{\text{ож}}$:

$$t_{\text{пп}} = t_{\text{то}}^{\text{ож}} + t_{\text{то}} + t_{\text{рас}}^{\text{ож}}, \text{ мин.}$$

В поездах, прибывших в расформирование, имеются вагоны разных назначений. Исходя из плана формирования поездов, количества вагонов из каждого назначения и технологии работы СС устанавливается число назначений $G = \{A, B, B, G, \dots\}$. В ПП принимаются поезда в расформирование с вагонами более двух назначений ($G \geq 2$), так как при $G = 1$ поезд считается транзитным без переработки и принимается в транзитный парк (ТП), минуя СС.

Число сортировочных путей $m_{сп}$ устанавливают в зависимости от числа назначений G . В СП накапливаются вагоны, прошедшие сортировку через сортировочные устройства, продолжительность $t_{нак}$ которой зависит от вагонопотока рассматриваемого назначения и количества вагонов в формируемом составе. Пути в СП могут быть свободными или частично свободными $m_{сп}^{чс}(l)$ в зависимости от числа вагонов, находящихся на путях, и полностью занятыми вагонами $m_{сп}^{пз}$, ожидающими перестановки в ПО:

$$m_{сп} = m_{сп}^{чс}(l) + m_{сп}^{пз}, \text{ путей.}$$

В ПО переставляются из СП поезда своего формирования, которые простаивают $t_{по}$ в ожидании обработки $t_{обр}^{ож}$, обработки по отправлению $t_{обр}^{отп}$, прицепки поездного локомотива $t_{\dot{e}\dot{e}}^{i\dot{e}}$ и отправления $t_{от}^{ож}$:

$$t_{по} = t_{обр}^{ож} + t_{обр}^{отп} + t_{лок}^{ож} + t_{от}^{ож}, \text{ мин.}$$

Отправляются поезда из ПО с некоторым интервалом $I_{от}$, и, таким образом, пути в ПО могут быть как занятыми $m_{по}^3$, так и свободными $m_{по}^c$:

$$m_{по} = m_{по}^c + m_{по}^3, \text{ путей.}$$

Решение задачи

Если при занятости всех путей СС $m_{пп} = m_{пп}^3$, $m_{сп} = m_{сп}^{пз}$ и $m_{по} = m_{по}^3$ отправить поезд из ПО и переставить на освободившийся путь состав из СП, то при числе назначений вагонов $G \geq 2$ в составе, находящемся в ПП, освободить путь в ПП невозможно (рис. 3).

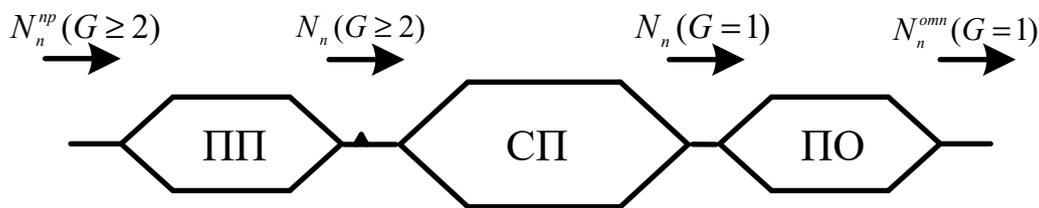


Рис. 3. Схема потока вагонов в сортировочной системе

Анализ показывает, что все событие в СС может рассматриваться как реализуемое с некоторой вероятностью или содержащее вероятностные параметры.

Вероятность $E(A)$ состава прибывших в расформирование поездов из g -групп при G числе назначений может быть выражена формулой:

$$P(A) = \frac{\binom{G+g-1}{g}}{\binom{G+G-1}{G} - G},$$

где $\binom{G+g-1}{G}, \binom{G+G-1}{G}$ — биномиальные коэффициенты.

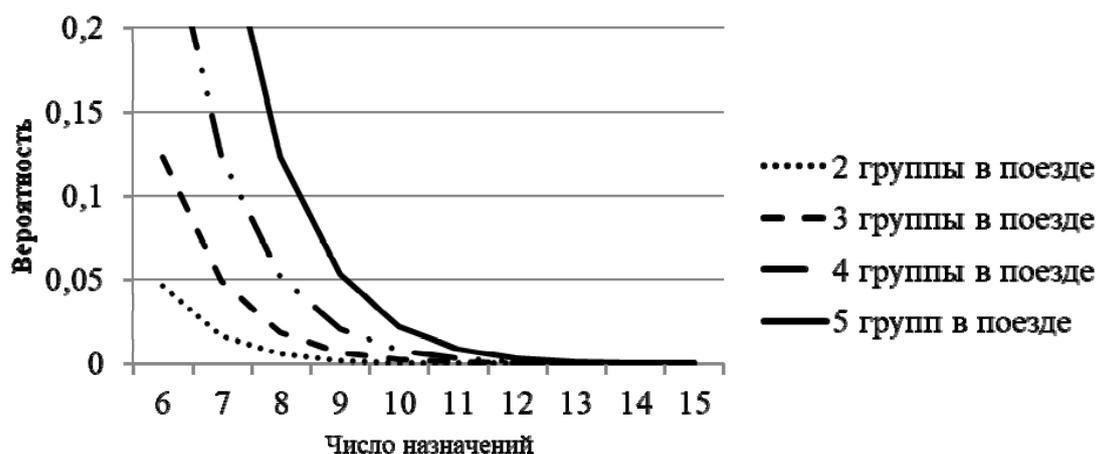


Рис. 4. Вероятность чисел групп в прибывших поездах

Исследование вероятностей прибытия поездов с различным числом групп по приведенной формуле показано на рис. 4. Как видно из рис. 4, наличие 2 групп и менее в прибывающих поездах является, как правило, маловероятным.

Исходя из этого, в СС с учетом резервирования должно быть свободно m_{cc}^c не менее трех путей:

$$m_{cc}^c = m_{пп}^c + \sum m_{сп}^{чс}(l) + m_{по}^c \geq 3,$$

где при свободности путей в ПП и ПО должны быть полностью освобождены ($m_{пп}^c = \{1, 2, 3, \dots, m_{пп}\}$ и $m_{по}^c = \{1, 2, 3, \dots, m_{по}\}$), а пути СП $\sum m_{сп}^{чс}(l)$ могут быть частично свободными.

Таким образом, зная число прибывающих поездов и используя приведенный метод, можно определить общее число путей в ПП, СП и ПО.

Заключение

Практика работы СС станций местных линий показывает, что их эффективность определяется не только основным условием устойчивости, связанным с

поддержанием равенства входящих и выходящих вагонопотоков, но и с условиями свободности путей в парках СС.

Исследование вероятностей прибытия поездов с местным грузом в расформирование приводит к выводу, что составы с вагонами более двух назначений ($G \geq 2$) являются нормой. Расчеты, проведенные в соответствии с предложенным вероятностным подходом, показывают, что в СС в каждый момент времени должно быть свободно не менее трех путей с учетом интенсивности прибывающих и отправляемых поездов.

Предложенный подход позволяет повысить устойчивость работы сортировочных устройств станций и надежно выполнять установленные сроки доставки грузов, снизить непроизводительный простой вагонов, а также исключить использование мероприятий, влекущих изменений в технологии работы, требующих капитальных вложений для повышения переработку вагонов и устойчивости работы сортировочных устройств станций местных линий.

Библиографический список

1. Сатторов С. Б. Вопросы развития железнодорожной линии Ахангаран — Тукимачи — Сырдарьинская / С. Б. Сатторов, А. Г. Котенко, В. Л. Белозеров // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2019. — Т. 16. — Вып. 3. — С. 439–449. — DOI: 10.20295/1815-588X-2019-3-439-448.

2. Сатторов С. Б. Проблемы организации ускоренных грузовых перевозок в условиях увеличения транзитных грузопотоков на железных дорогах Республики Узбекистан / С. Б. Сатторов, А. Г. Котенко // Бюллетень результатов научных исследований. — СПб.: ПГУПС, 2019. — № 2. — С. 7–18.

3. Котенко А. Г. Оценка качества переработки вагонопотока в условиях неравномерности прибытия поездов на сортировочную станцию / А. Г. Котенко, В. В. Соляник // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2020. — Т. 17. — Вып. 3. — С. 397–406. — DOI: 10.20295/1815-588X-2020-3-397-406.

3. Жарков М. Л. Моделирование сортировочных станций железнодорожной сети методами теорий массового обслуживания / М. Л. Жарков, М. М. Павидис // Надежность. — М., 2021. — Т. 21. — № 3. — С. 27–34.

4. Лемперт А. А. Моделирование зарубежных сортировочных станций на основе теории массового обслуживания / А. А. Лемперт, М. М. Павидис, М. Л. Жарков // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. — Екатеринбург, 2019. — Вып. 3(43) — С. 24–32.

5. Александрова Н. Б. Совершенствование сортировочной работы станции И. / Н. Б. Александрова, Н. А. Граматунова, В. А. Леонтьева // Сборник научных трудов Донецкого института железнодорожного транспорта. — Донецк, 2018. — Вып. 51 — С. 59–65.

6. Семенцова Т. М. Оптимизация процесса работы сортировочных станций / Т. М. Семенцова, И. А. Степанова // Альманах мировой науки. — М., 2019. — № 10(36) — С. 13–16.

7. Ефименко Ю. И. Железнодорожные станции и узлы: учеб. пособие для студ. учреждений сред проф. образования / Ю. И. Ефименко, В. С. Суходоев и др.; под ред. Ю. И. Ефименко. — М.: Издательский центр «Академия», 2006. — 336 с.

8. Казаков А. Л. Мировой опыт работы железнодорожных сортировочных станций: современное состояние, тенденции и перспективы / А. Л. Казаков, М. М. Павидис // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. — Новосибирск, 2021. — № 1(56) — С. 28–37.

9. Полякова М. Н. Метод расчета наличной пропускной способности грузонапряженного двухпутного железнодорожного участка с учетом влияния надежности входящих в него перегонов и станций / М. Н. Полякова // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. — М., 2013. — № 2 — С. 44–49.

10. Терещенко О. А. Моделирование процессов накопления вагонов для решения задач оперативного планирования в условиях неопределенности исходной информации / О. А. Терещенко // Наука та прогрес транспорту. — Днепропетровск, 2017. — № 3(69). — С. 45–55.

11. Дмитренко А. В. Оценка влияния веса и длины грузовых поездов на пропускную и провозную способности горловин приема сортировочных станций / А. В. Дмитренко, Н. Б. Попова, Ю. В. Голеня // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. — Новосибирск, 2020. — № 4(55) — С. 57–64.11.

12. Пономаренко М. В. Критериальная оценка работы сортировочных станций / М. В. Пономаренко // Достижения вузовской науки. — Новосибирск, 2016. — № 22 — С. 142–147.

13. Иванкова Л. Н. Определение пропускной способности станций с учетом емкости путевого развития / Л. Н. Иванкова, А. В. Буракова // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. — Иркутск, 2018. — № 3(59) — С. 92–98.

Дата поступления: 03.06.2022

Решение о публикации: 08.08.2022

Контактная информация:

САТТОРОВ Самандар Бахтиерович — аспирант; sattorovsamandar100@gmail.com

КОТЕНКО Алексей Геннадьевич — д-р техн. наук, проф.; algenko@gmail.com

On the Matter of Stability of Sorting Devices of Local Line Stations

S. B. Sattorov¹, A. G. Kotenko²

¹Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovskiypr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

²Solomenko institute of transport problems of the Russian academy of sciences, 13, 12-th line VO, Saint Petersburg, 199178, Russian Federation

For citation: Sattorov S. B., Kotenko A. G. On the Matter of Stability of Sorting Devices of Local Line Stations. *Bulletin of scientific research results*, 2022, iss. 3, pp. 118–127. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2022-3-118-127

Summary

Purpose: An approach is considered in the article to the assessment of stability main conditions related to maintaining the equality of incoming and outgoing wagon flows and also related to the conditions of track freedom in the parks of local line sorting systems. **Methods:** The task is settled with the use of (mathematical) analysis, probability theory and fuzzy set theory. **Results:** The study of arrival probabilities for trains with local cargo for a disbandment leads to the conclusion that trains with wagons for more than two destinations constitute the norm. The performed calculations show that in the sorting system of local line stations at any time moment there should be free at least three tracks at the expense of arriving and departing train intensity. **Practical importance:** The proposed approach makes it possible to specify the assessment of work stability for station sorting devices and to increase the reliability in meeting set deadlines for goods delivery.

Keywords: Sorting system, track development, wagon traffic, delivery time.

References

1. Sattorov S. B. Voprosy razvitiya zheleznodorozhnoy linii Akhangaran — Tukimachi — Syrdar'inskaya [Issues of development of the railway line Akhangaran — Tukimachi — Syrdarya]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya* [Bulletin of the Petersburg University of Communications]. St. Petersburg: PGUPS Publ., 2019, vol. 16, I. 3, pp. 439–449. DOI: 10.20295/1815-588Kh-2019-3-439-448. (In Russian)

2. Sattorov S. B. Problemy organizatsii uskorennykh gruzovykh perezovok v usloviyakh uvelicheniya tranzitnykh gruzopotokov na zheleznykh dorogakh Respubliki Uzbekistan [Problems of organizing accelerated freight traffic in the conditions of increasing transit traffic on the railways of the Republic of Uzbekistan]. *Byulleten' rezul'tatov nauchnykh issledovaniy* [Bulletin of the results of scientific research]. St. Petersburg: PGUPS Publ., 2019, I. 2, pp. 7–18. (In Russian)

3. Kotenko A. G. Otsenka kachestva pererabotki vagonopotoka v usloviyakh neravnomernosti pribytiya poezdov na sortirovochnuyu stantsiyu [Assessment of the quality of railcar flow processing under conditions of uneven arrival of trains at the marshalling yard]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya* [Bulletin of the Petersburg University of Communications]. St. Petersburg: PGUPS Publ., 2020, vol. 17, I. 3, pp. 397–406. DOI: 10.20295/1815-588Kh-2020-3-397-406. (In Russian)

4. Zharkov M. L. Modelirovanie sortirovochnykh stantsiy zheleznodorozhnoy seti metodami teorii massovogo obsluzhivaniya [Modeling of marshalling yards of the railway network by methods of queuing theories]. *Nadezhnost'* [Reliability]. Moscow, 2021, vol. 21, I. 3, pp. 27–34. (In Russian)
5. Lempert A. A. Modelirovanie zarubezhnykh sortirovochnykh stantsiy na osnove teorii massovogo obsluzhivaniya [Modeling of foreign marshalling yards based on the theory of queuing]. *Vestnik Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya* [Bulletin of the Ural State University of Communications]. Ekaterinburg, 2019, I. 3 (43), pp. 24–32. (In Russian)
6. Aleksandrova N. B. Sovershenstvovanie sortirovochnoy raboty stantsii I [Improvement of sorting work of station I]. *Sbornik nauchnykh trudov Donetskogo instituta zheleznodorozhnogo transporta* [Collection of scientific works of the Donetsk Institute of Railway Transport]. Donetsk, 2018, I. 51, pp. 59–65. (In Russian)
7. Sementsova T. M. Optimizatsiya protsessa raboty sortirovochnykh stantsiy [Optimization of the process of marshalling yards]. *Al'manakh mirovoy nauki* [Almanac of world science]. Moscow, 2019, I. 10(36), pp. 13–16. (In Russian)
8. Efimenko Yu. I., Sukhodoev V. S. *Zheleznodorozhnye stantsii i uzly: Ucheb. posobie dlya stud. uchrezhdeniy sred prof. Obrazovaniya* [Railway stations and nodes: Proc. allowance for students. institutions environments prof. Education]. Moscow: «Akademiya» Publ., 2006. 336 p. (In Russian)
9. Kazakov A. L. Mirovoy opyt raboty zheleznodorozhnykh sortirovochnykh stantsiy: sovremennoe sostoyanie, tendentsii i perspektivy [The method of calculating the available capacity of a cargo-loaded double-track railway section, taking into account the influence of the reliability of the spans and stations included in it]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya* [Bulletin of the Research Institute of Railway Transport]. Novosibirsk, 2021, I. 1(56), pp. 28–37. (In Russian)
10. Polyakova M. N. Metod rascheta nalichnoy propusknoy sposobnosti gruzonapryazhennogo dvukhputnogo zheleznodorozhnogo uchastka s uchetom vliyaniya nadezhnosti vkhodyashchikh v nego peregonov i stantsiy [Modeling the processes of accumulation of wagons for solving problems of operational planning in conditions of uncertainty of initial information]. *Vestnik nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta* [Nauka ta progres transportu]. Moscow, 2013, I. 2, pp. 44–49. (In Russian)
11. Tereshchenko O. A. Modelirovanie protsessov nakopleniya vagonov dlya resheniya zadach operativnogo planirovaniya v usloviyakh neopredelennosti iskhodnoy informatsii [Modeling the processes of accumulation of wagons for solving problems of operational planning in conditions of uncertainty of initial information]. *Nauka ta progres transport* [Nauka ta progres transportu]. Dnepropetrovsk, 2017, I. 3(69), pp. 45–55. (In Russian)
12. Dmitrenko A. V. Otsenka vliyaniya vesa i dliny gruzovykh poezdov na propusknuyu i provoznuyu sposobnost' gorlovin priema sortirovochnykh stantsiy [Evaluation of the influence of the weight and length of freight trains on the throughput and carrying capacity of marshalling yard reception necks]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya* [Bulletin of the Siberian State University of Communications]. Novosibirsk, 2020, I. 4(55), pp. 57–64.11. (In Russian)

13. Ponomarenko M. V. Kriterial'naya otsenka raboty sortirovochnykh stantsiy [Criteria evaluation of marshalling yards]. *Dostizheniya vuzovskoy nauki* [Achievements of high school science]. Novosibirsk, 2016, I. 22, pp. 142–147. (In Russian)

14. Ivankova L. N. Opredelenie propusknoy sposobnosti stantsiy s uchetom emkosti putevogo razvitiya [Determination of the throughput capacity of stations taking into account the capacity of track development]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovanie* [Modern technologies. System analysis. Modeling]. Irkutsk, 2018, I. 3(59), pp. 92–98. (In Russian)

Received: June 03, 2022

Accepted: August 08, 2022

Author's information:

Samandar B. SATTOROV — Postgraduate Student; sattorovsamandar100@gmail.com

Alexey G. Kotenko — Dr. Sci. in Engineering, Professor; algenko@gmail.com