

УДК 656.222.6

Методика определения потерь участковой скорости движения грузовых поездов в границах железной дороги

С. А. Маринин

Нижегородский центр организации работы железнодорожных станций, Россия, 603002, Нижний Новгород, пл. Революции, 5

Для цитирования: *Маринин С. А.* Методика определения потерь участковой скорости движения грузовых поездов в границах железной дороги // Известия Петербургского государственного университета путей сообщения. СПб.: ПГУПС, 2024. Т. 21, вып. 1. С. 187–198. DOI: 10.20295/1815-588X-2024-01-187-198

Аннотация

Цель: разработать методику оценки суммарных потерь участковой скорости движения грузовых поездов, которая, в отличие от существующих методов, основанных на подсчете потерь, вызванных влиянием отдельных эксплуатационных факторов, будет базироваться на использовании статистических данных и учитывать весь спектр эксплуатационных факторов, оказывающих влияние на выполнение рассматриваемого показателя. **Методы:** формирование статистической базы параметров эксплуатационной работы железной дороги и проведение на ее базе исследования с использованием инструментов теории вероятностей и математической статистики: оценки распределения рассматриваемых величин, корреляционного и регрессионного анализа. **Результаты:** установлено, что 75 % вариабельности участковой скорости движения грузовых поездов объясняется изменением величины рабочего парка грузовых вагонов. На основании этого разработана методика оценки потерь участковой скорости движения грузовых поездов через величину рабочего парка грузовых вагонов на железной дороге. Предложены графический и аналитический способ определения данных потерь. **Практическая значимость:** показано, что разработанная методика, в отличие от существующих, позволяет более точно оценить потери участковой скорости движения грузовых поездов. Ее применение позволяет планировать и анализировать выполнение участковой скорости движения грузовых поездов с учетом складывающейся эксплуатационной работы на железной дороге.

Ключевые слова: эксплуатационная работа, участковая скорость, прогнозирование показателей, определение потерь, корреляционный анализ, уравнение регрессии.

Введение

Участковая скорость движения грузовых поездов, как известно, является одним из основных показателей, характеризующих качество эксплуатационной работы на железной дороге в целом и грузовых перевозок в частности. От выполнения участковой скорости движения грузовых поездов зависит выполнение многих других показателей эксплуатационной работы: сроков доставки грузов, производительности локомотива и т. д. Также

участковая скорость движения грузовых поездов непосредственно оказывает влияние на организацию труда и отдыха локомотивных бригад. Поэтому важно качественно планировать данный показатель, а также анализировать потери в его выполнении.

В настоящее время при оценке потерь участковой скорости движения грузовых поездов используются различные методики, которые сводятся либо к подсчету времени

задержек поездов по отдельным причинам, как, например, реализовано в автоматизированной системе ведения и анализа графика исполненного движения ГИД «Урал-ВНИИЖТ», либо к разработке регрессной модели, учитывающей влияние на участковую скорость различных эксплуатационных факторов [1–3]. В первом случае является затруднительным выявление потерь участковой скорости движения грузовых поездов. Во втором случае, в силу сложности математического описания эксплуатационных процессов, достоверно учесть все факторы, влияющие на результирующий показатель, в данном случае на участковую скорость движения грузовых поездов, затруднительно, так как ряд факторов обладает нелинейным влиянием [4]. К тому же при увеличении количества факторов в регрессной модели увеличивается разница между скорректированным и нескорректированным коэффициентом детерминации [5]. Поэтому была разработана методика, позволяющая оценить потери участковой скорости движения грузовых поездов от всей совокупности причин, приводящих к задержкам поездов.

Статистический анализ

В исследовании был использован следующий принцип. Задержки грузовых поездов могут вызываться различными причинами: проведением «окон» на инфраструктуре [6], обеспеченностью поездов локомотивами [7, 8], фактическими размерами движения поездов [9], задержками поездов на подходах к техническим станциям [10] и т.д. Все это в конечном счете приводит к увеличению рабочего парка грузовых вагонов на железной дороге. Таким образом, через величину рабочего парка грузовых вагонов можно оценить потери участковой скорости движения

грузовых поездов, вызванные сбоями в эксплуатационной работе.

Для проведения исследования были собраны статистические данные о ежесуточном выполнении участковой скорости движения грузовых поездов и рабочем парке грузовых вагонов на Горьковской железной дороге в период с ноября 2022 года по октябрь 2023 года. Наличие данных за календарный год позволило учесть влияние на выполнение рассматриваемого показателя сезонных факторов.

Вначале для использования в исследовании методов теории вероятностей и математической статистики было рассмотрено, каким законом распределения наилучшим образом описывается полученная статистическая база. Как показывают другие исследования [11, 12], показатели эксплуатационной работы железной дороги достаточно хорошо описываются нормальным законом распределения. Поэтому распределение рассматриваемых параметров: рабочего парка грузовых вагонов и участковой скорости движения грузовых поездов, были рассмотрены на соответствие нормальному закону.

Вначале исходные данные были сгруппированы по интервалам в соответствии с правилом Стерджесса [13]:

$$K = 3,3 \lg N + 1,$$

где N — объем выборки.

По итогам группировки данных построены гистограммы распределения рассматриваемых параметров. На рис. 1 в качестве примера приведена гистограмма плотности распределения участковой скорости движения грузовых поездов.

Для установления того, соответствуют ли рассматриваемые распределения нормальному закону или нет, была выдвинута нулевая

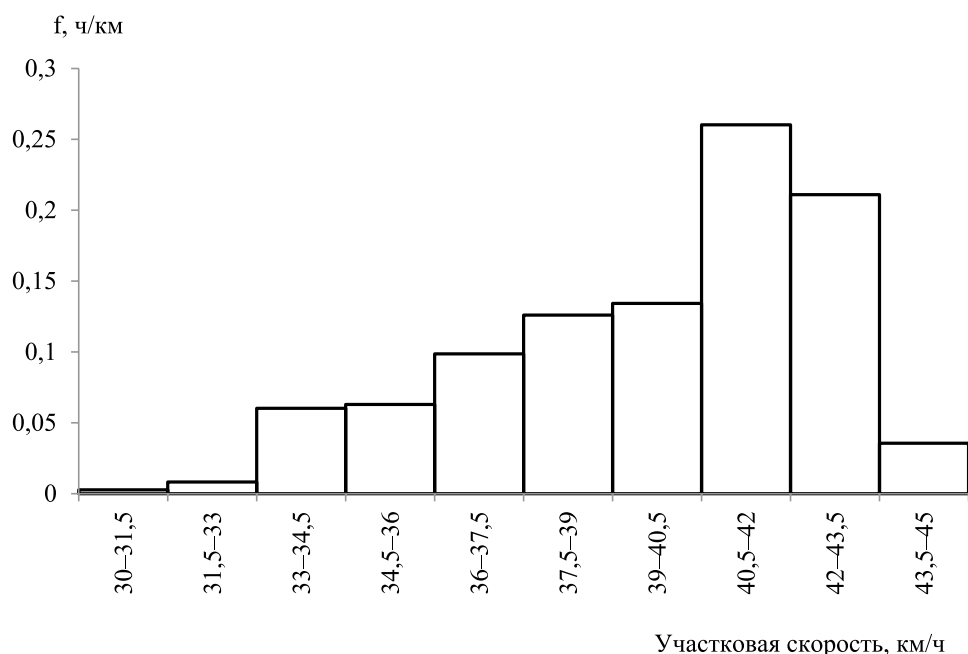


Рис. 1. Гистограмма распределения участковой скорости движения грузовых поездов

гипотеза, заключающаяся в том, что эмпирические и теоретические частоты распределения рассматриваемой величины равны. Альтернативная гипотеза заключается в отличии эмпирических и теоретических частот.

Для проверки гипотезы был использован критерий согласия Колмогорова, который позволяет определить меру расхождения между теоретическим и эмпирическим распределением. Статистика критерия Колмогорова имеет вид [14]:

$$D_n = \sup_x |F_n(x) - F(x, \theta)|,$$

где $F_n(x)$ — эмпирическая функция распределения;

$F(x, \theta)$ — теоретическая функция распределения.

На основании меры расхождения определяется величина λ [15]:

$$\lambda = D\sqrt{n},$$

где n — объем выборки.

Полученное значение λ сравнивается с критическим λ_{α} . Если вычисленное значение меньше критического, то нулевая гипотеза принимается, если больше — принимается альтернативная гипотеза. В расчетах был принят уровень значимости $\alpha = 0,05$.

Выполненные расчеты показали, что хотя полученный критерий Колмогорова больше критического значения, тем не менее распределение рассматриваемых величин близко к нормальному закону.

Поэтому далее для участковой скорости движения грузовых поездов были сформированы частные выборки с периодами: полугодие с ноября по апрель и за три месяца с января по март, что позволило исключить влияние сезонных факторов, таких как летние ремонтно-путевые работы. По каждой полученной выборке рассмотренным выше способом была выполнена проверка на соответствие нормальному закону. В соответствии с результатами расчетов на рис. 2 построена зависимость критерия Колмогорова

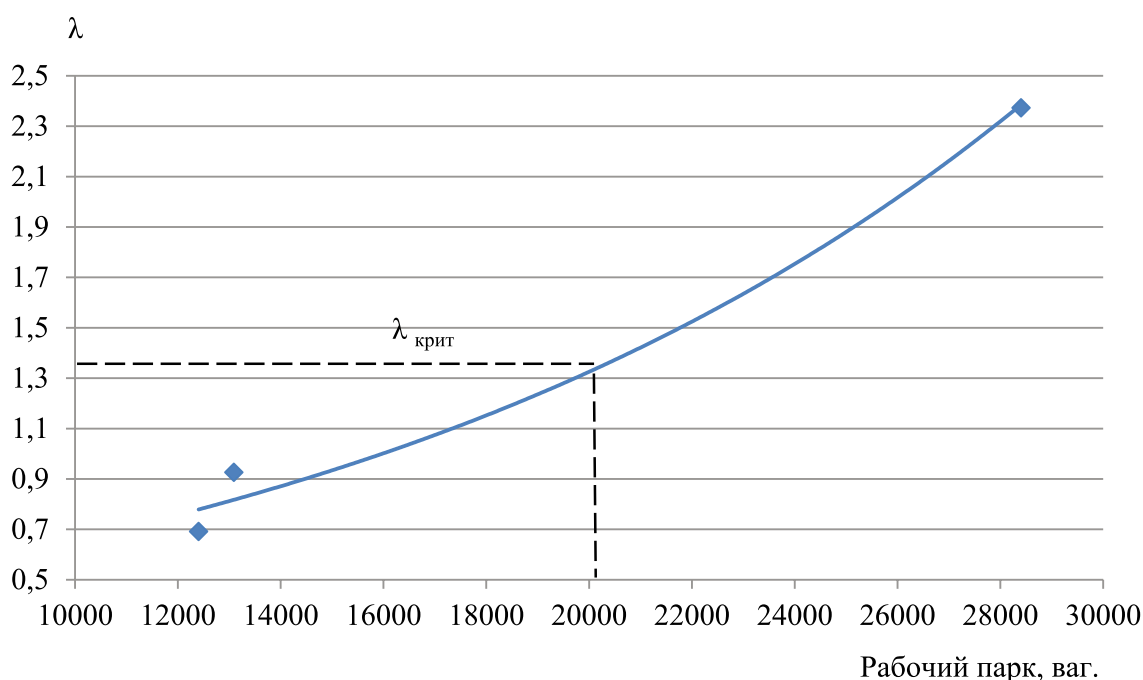


Рис. 2. Зависимость критерия Колмогорова от диапазона рабочего парка грузовых вагонов в выборке при проверке на соответствие нормальному закону распределения

при проверке распределения на соответствие нормальному закону от диапазона изменения рабочего парка грузовых вагонов в выборке.

Как видно, при уменьшении диапазона изменения рабочего парка грузовых вагонов в выборке критерий Колмогорова уменьшается и распределение участковой скорости движения грузовых поездов приближается к нормальному закону. При достижении диапазона изменения рабочего парка грузовых вагонов не более 20 000 вагонов, критерий Колмогорова становится менее критического значения. Это является следствием того, что уменьшается влияние эксплуатационных факторов на величину рабочего парка, то есть уравниваются условия проведения испытаний.

Таким образом, при фиксированных значениях рабочего парка грузовых вагонов распределение средней участковой скорости

движения грузовых поездов с необходимым уровнем значимости соответствуют нормальному закону, а следовательно, к нему можно применить методы статистического анализа, требующие нормальности распределения рассматриваемой величины.

Таким же образом на соответствие нормальному закону было проверено распределение рабочего парка грузовых вагонов. Результаты показали, что при диапазоне изменения рабочего парка грузовых вагонов не более 17 000 вагонов, его распределение с необходимым уровнем значимости соответствует нормальному закону.

Поэтому дальше был осуществлен переход от исходной общей выборки к отдельным частным выборкам, в которых каждый рассматриваемый параметр в большей степени приближен к нормальному распределению.

Разработка методики

Для установления степени взаимосвязи участковой скорости движения грузовых поездов с рабочим парком грузовых вагонов был выполнен корреляционный анализ.

Вначале были определены парные коэффициенты корреляции между рассматриваемыми величинами [16]:

$$r_{xy} = \frac{M\{[X - M(X)][Y - M(Y)]\}}{\sqrt{M(X^2) - [M(X)]^2} \sqrt{M(Y^2) - [M(Y)]^2}},$$

где M — математическое ожидание исследуемой величины;

X — входная переменная;

Y — выходная переменная.

После этого была выполнена проверка их значимости с использованием Т-критерия [17]:

$$T = r_{xy} \frac{\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_{xy}^2}},$$

где r_{xy} — коэффициент корреляции;

n — объем выборки.

Результаты расчетов показали, что коэффициент корреляции составил $-0,87$. Т-критерий составил $33,0$ при критическом значении $1,96$. Таким образом, подтверждена значимость полученного коэффициента корреляции, а его значение говорит о достаточно тесной взаимосвязи между рассматриваемыми параметрами. Знак минус говорит о том, что связь отрицательная, то есть при увеличении рабочего парка грузовых вагонов участковая скорость движения грузовых поездов уменьшается.

На рис. 3 показана диаграмма рассеяния, характеризующая зависимость фактической участковой скорости движения грузовых поездов от рабочего парка грузовых вагонов.

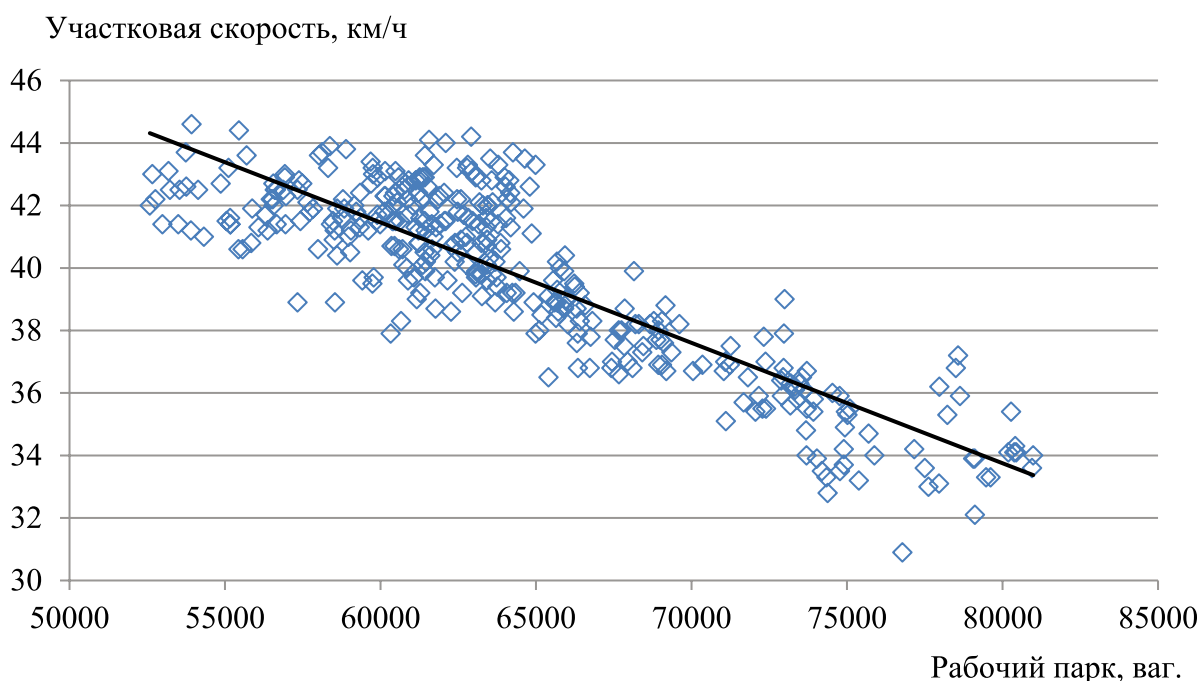


Рис. 3. Зависимость участковой скорости движения грузовых поездов от рабочего парка грузовых вагонов

Как показывает линия тренда, имеет место линейная зависимость. Диапазон изменения участковой скорости движения грузовых поездов при минимальном и максимальном рабочем парке грузовых вагонов на железной дороге составляет 11 км/ч.

Продление линии тренда за полученные границы недопустимо, так как при больших и меньших значениях рабочего парка грузовых вагонов зависимость будет искажаться, то есть не будет линейной. Это обусловлено тем, что при определенном малом значении рабочего парка грузовых вагонов будет достигнуто максимально возможное значение участковой скорости движения грузовых поездов и дальнейшее снижение рабочего парка грузовых вагонов не будет приводить к ее увеличению. При увеличении рабочего парка грузовых вагонов наступит «насыщение» инфраструктуры и зависимость участковой скорости движения грузовых поездов может стать нелинейной.

Для математической оценки влияния рабочего парка грузовых вагонов на участковую скорость движения грузовых поездов было сформировано уравнение регрессии, которое в общем виде выглядит как [18]:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + \dots + b_n \cdot x_n,$$

где b — коэффициенты регрессии;

x — факторы, влияющие на переменную.

По итогам вычислений получено уравнение регрессии для определения участковой скорости движения грузовых поездов в рассмотренном диапазоне изменения рабочего парка грузовых вагонов:

$$A = 64,572 - 0,0004 \cdot t,$$

где t — рабочий парк грузовых вагонов.

Также был вычислен коэффициент детерминации, определяемый как квадрат коэффициента корреляции [5]. Он составил 0,75. Иными словами, 75 % варибельности участковой скорости движения грузовых поездов объясняется значением рабочего парка грузовых вагонов на железной дороге.

Далее была определена разница между участковой скоростью движения грузовых поездов при минимальном значении рабочего парка грузовых вагонов и участковой скоростью движения грузовых поездов, заложенной в нормативном графике движения грузовых поездов. Она составила 4 км/ч. Таким образом, это является величиной потерь участковой скорости при минимальном наличии рабочего парка грузовых вагонов на железной дороге. Для получения суммарных потерь участковой скорости движения грузовых поездов при различных значениях рабочего парка грузовых вагонов необходимо полученную константу сложить с величиной потерь участковой скорости движения грузовых поездов, определенной как разница участковой скорости движения грузовых поездов при текущем и минимальном значениях рабочего парка грузовых вагонов.

Апробация полученных результатов

На рис. 4 приведены помесечные значения потерь участковой скорости движения грузовых поездов, вычисленные в программном комплексе АС ПУСК и по разработанной методике. Если к величине потерь участковой скорости движения грузовых поездов, определенной в АС ПУСК, прибавить значение фактической участковой скорости движения грузовых поездов, то получится значение больше заложенного в нормативном графике движения грузовых поездов в среднем

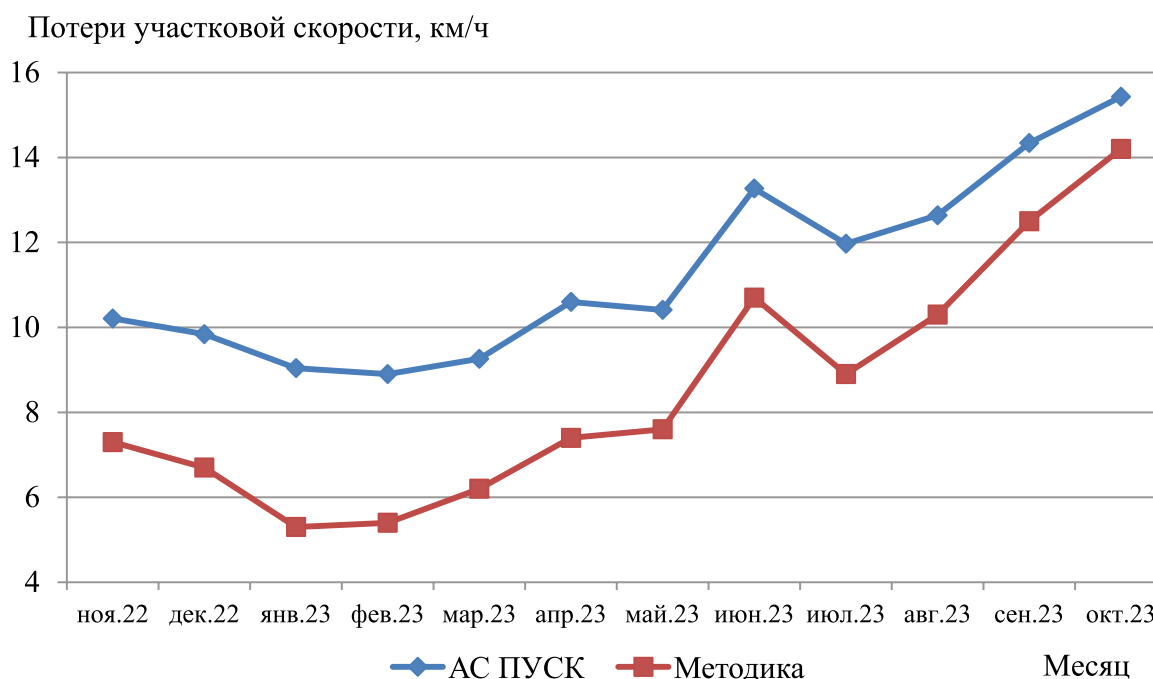


Рис. 4. Результаты определения потерь участковой скорости движения грузовых поездов

на 3 км/ч, что в реальных условиях является недостижимым.

Таким образом, потери участковой скорости движения грузовых поездов, вычисленные по разработанной методике, более близки к реальному значению разницы между фактической участковой скоростью движения грузовых поездов и максимально возможной.

Для оценки точности прогнозирования участковой скорости движения грузовых поездов с использованием разработанной методики было спрогнозировано ежемесячное ее выполнение в рассматриваемом периоде. Полученные значения сравнили с фактически реализованной участковой скоростью движения грузовых поездов. Результаты приведены на рис. 5.

Средняя погрешность прогнозирования составила 2,5 %. При этом аномальные отклонения в прогнозе имеют место в февраль

и марте 2023 года, что стало следствием массового прибытия под выгрузку вагонов с грузом для строительства автомагистрали М-12. Наличие вагонов с местным грузом в феврале и марте было значительно выше остальных месяцев. Выгрузка также была выше. Таким образом, увеличение рабочего парка грузовых вагонов в указанные месяцы стало следствием увеличения рабочего парка местных вагонов. Препятствий для пропуска транзитного вагонопотока не было, а количество отставленных от движения грузовых поездов находилось на минимальном значении. Такие уникальные параметры эксплуатационной работы, не повторяющиеся в другие временные периоды, привели к увеличению отклонения прогноза от фактического значения участковой скорости движения грузовых поездов. При исключении двух аномальных месяцев средняя ошибка прогнозирования составит 1,7 %.

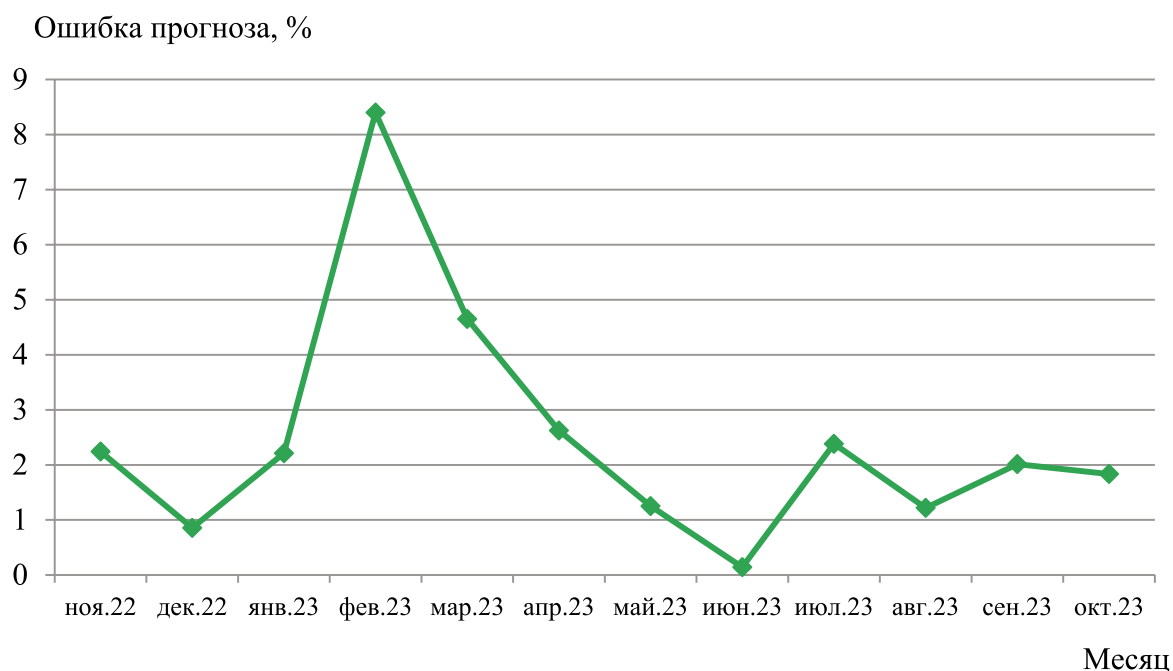


Рис. 5. Ошибка при прогнозировании участковой скорости движения грузовых поездов

Дополнительно была проверена корреляционная связь между участковой скоростью движения грузовых поездов и рабочим парком грузовых вагонов в выборке без аномальных месяцев. Коэффициент корреляции увеличился до $-0,9$, а коэффициент детерминации до $0,81$. Таким образом, без учета уникальных отклонений в параметрах эксплуатационной работы 81% варибельности участковой скорости движения грузовых поездов объясняется изменением величины рабочего парка грузовых вагонов.

Алгоритм определения потерь участковой скорости

В соответствии с выполненными расчетами на рис. 6 приведен пошаговый алгоритм определения потерь участковой скорости движения грузовых поездов в зависимости от величины рабочего парка грузовых вагонов.

Определить потери участковой скорости возможно двумя путями. Во-первых, графическим методом по линии тренда с использованием зависимости, построенной на рис. 3. Во-вторых, аналитическим методом путем подстановки величин рабочего парка грузовых вагонов в уравнение регрессии.

Выводы

1. Разработанная методика позволяет на основании статистических данных определить суммарные потери участковой скорости движения грузовых поездов в зависимости от величины рабочего парка грузовых вагонов на железной дороге.

2. При планировании участковой скорости движения грузовых поездов на предстоящий период необходимо учитывать потери, вызываемые увеличением рабочего парка грузовых вагонов.

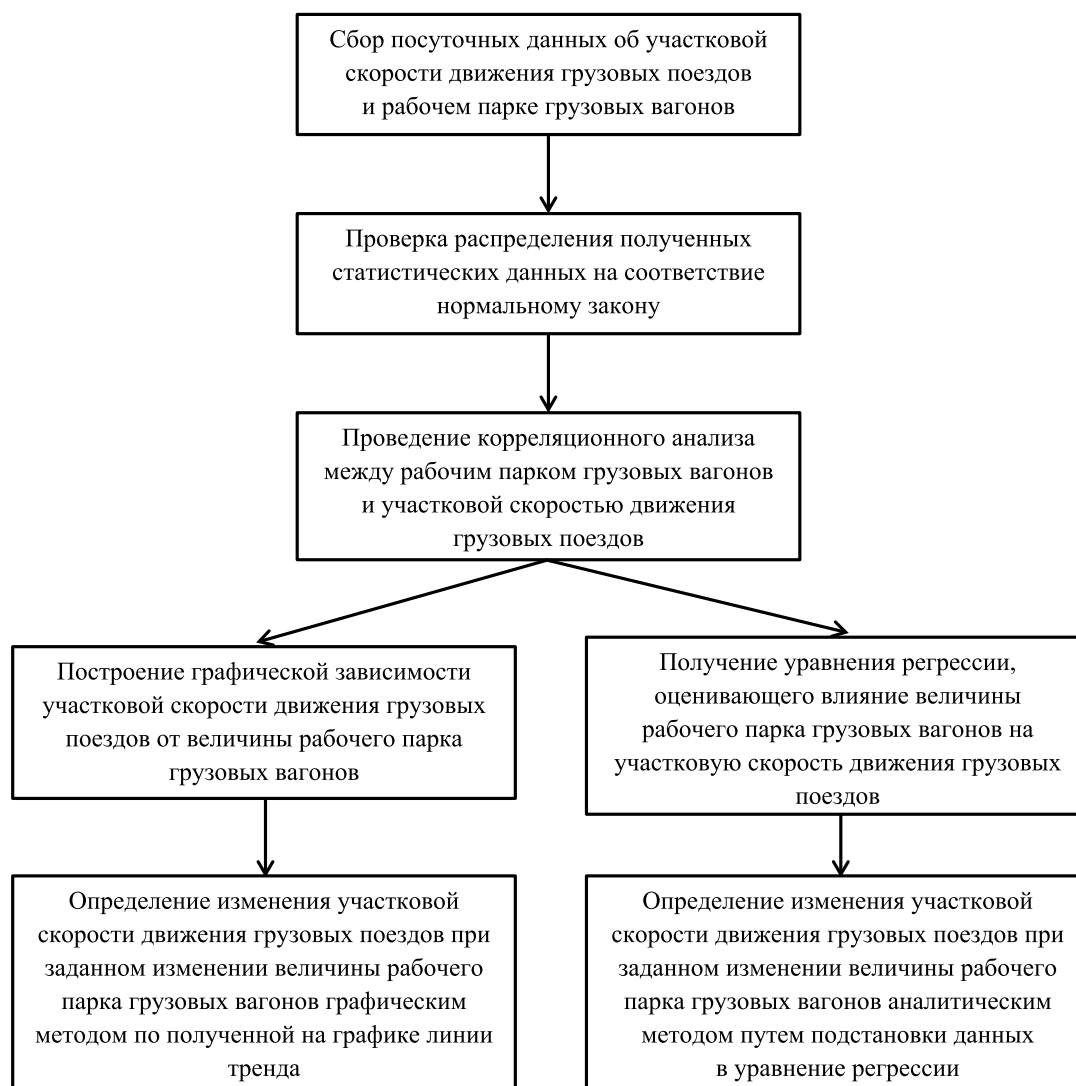


Рис. 6. Алгоритм определения потерь участковой скорости движения грузовых поездов

Библиографический список

1. Котенко А. Г. Определение участковой скорости на основе стохастического моделирования параметра, описывающего влияние задержек поездов / А. Г. Котенко, О. В. Котенко, А. В. Гоголева // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2011. № 4 (29). С. 113–120. ISSN 1815-588X.
2. Апатцев В. И. Оценка факторов риска реализации технологии движения грузовых поездов по расписанию на показатель средней участковой скорости / В. И. Апатцев, Г. М. Биленко, А. М. Орлов // Наука и техника транспорта. 2014. № 1. С. 8–16. ISSN 2074-9325.
3. Буцацкая В. В. Прогнозирование средней участковой скорости движения поездов на основе многофакторной регрессионной модели / В. В. Буцацкая, А. В. Гоголева // Вестник АГУ. 2017. № 4 (211). С. 181–186. ISSN 2410-3225.
4. Виноградов С. А. Влияние условий пропуска поездопотока на величину эксплуатируемого парка локомотивов: спец. 05.22.07 «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрифика-

ция»: дис. ... канд. техн. наук. М.: Государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта», 2002.

5. Елисеева И. И. Общая теория статистики / И. И. Елисеева, М. М. Юзбашев. М.: Финансы и статистика, 2004. 656 с. ISBN 5-279-02414-7.

6. Маринин С. А. Влияние окон для ремонтных и строительно-монтажных работ на участковую скорость движения грузовых поездов // Инновационный транспорт. 2017. № 2. С. 55–58. ISSN 2311-164X.

7. Корниенко Н. В. Зависимость участковой скорости от обеспеченности транзитных поездов локомотивами // Железная дорога: путь в будущее: Сборник трудов I Международной научной конференции аспирантов и молодых ученых. М.: Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта. 2022. С. 315–321.

8. Корниенко Н. В. Фактор обеспечения поездов локомотивами на станциях стыкования родов тока и его влияние на участковую скорость // Сборник материалов II международной конференции «Наука 1520 ВНИИЖТ»: загляни за горизонт. М.: Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта. 2023. С. 124–129.

9. Мехедов М. И. Методика оценки факторов, определяющих стабильность пропуска грузовых поездопотоков на грузонапряженных направлениях: спец. 05.22.08 «Управление процессами перевозок»: дис. ... канд. техн. наук. М.: Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта», 2016.

10. Сайбаталов Р. Ф. Методы устранения затруднений в работе полигонов железнодорожной сети: спец. 05.22.08 «Управление процессами перевозок»: дис. ... канд. техн. наук. Екатеринбург: Уральский государственный университет путей сообщения, 2020.

11. Маринин С. А. Определение эксплуатационных факторов, влияющих на средний вес грузового поезда // Инновационный транспорт. 2019. № 2. С. 56–61. ISSN 2311–164X.

12. Маринин С. А. Прогнозирование показателя эксплуатационной работы железных дорог «средний вес грузового поезда» // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2021. № 2. С. 17–22. ISSN 0236-1914.

13. Sturges H. The choice of a class-interval // Journal of the American Statistical Association. 1926. № 21. С. 65–66.

14. Орлов А. И. Непараметрические критерии согласия Колмогорова, Смирнова, омега-квадрат и ошибки при их применении // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2014. № 97. С. 31–45. ISSN 1990-4665.

15. Кремер Н. Ш. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2004. 573 с. ISBN 5-238-00573-3.

16. Куликов Е. И. Прикладной статистический анализ. М.: Горячая линия — Телеком, 2008. 464 с. ISBN 978-5-9912-0021-9.

17. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высшая школа, 2004. 479 с. ISBN 5–06–004214–6.

18. Rohadgi V.K. An introduction to probability and statistics / V. K. Rohadgi, A. K. Md. Ehsanes. New Jersey: John Wiley & Sons, 2015. 700 p. ISBN 978-1-118-79964-2.

Дата поступления: 15.11.2023

Решение о публикации: 05.02.2024

Контактная информация:

МАРИНИН Сергей Александрович — канд. техн. наук; marininsergey.nn@mail.ru

Methodology for determining local speed losses of freight trains within the boundaries of the railway

S. A. Marinin

Nizhny Novgorod center for organizing the work of railway stations, 5, pl. Revolutions, Nizhny Novgorod, 603002, Russia

For citation: *Marinin S. A.* Methodology for determining local speed losses of freight trains within the boundaries of the railway // Proceedings of Petersburg Transport University. 2024. Vol. 21, iss. 1. P. 187–198. (In Russian) DOI: 10.20295/1815-588X-2024-01-187-198

Abstract

Purpose: to develop a methodology for estimating the total losses of the local speed of freight trains, which, unlike existing methods based on calculating losses caused by the influence of individual operational factors, will be based on the use of statistical data, and take into account the entire range of operational factors that influence the implementation of the indicator under consideration. **Methods:** formation of a statistical database of railway operational parameters and conducting research on its basis using the tools of probability theory and mathematical statistics: assessing the distribution of the quantities under consideration, correlation and regression analysis. **Results:** it was established that 75 % of the variability in the local speed of freight trains is explained by changes in the size of the operating fleet of freight cars. Based on this, a methodology has been developed for estimating losses in the local speed of freight trains through the size of the working fleet of freight cars on the railway. A graphical and analytical method for determining these losses is proposed. **Practical significance:** it is shown that the developed methodology, in contrast to existing ones, makes it possible to more accurately estimate the loss of local speed of freight trains. Its use makes it possible to plan and analyze the implementation of the local speed of freight trains, taking into account the evolving operational work on the railway.

Keywords: operational work, local speed, forecasting indicators, determining losses, correlation analysis, regression equation.

References

1. Kotenko A. G. Opredelenie uchastkovoj skorosti na osnove stohasticheskogo modelirovanija parametra, opisyvajushhego vlijanie zaderzhek poezdov / A. G. Kotenko, O. V. Kotenko, A. V. Gogoleva // Izvestija Peterburgskogo universiteta putej soobshhenija. 2011. № 4 (29). S. 113–120. ISSN 1815-588X. (In Russian)
2. Apatcev V. I. Ocenka faktorov riska realizacii tehnologii dvizhenija gruzovyh poezdov po raspisaniju na pokazatel' srednej uchastkovoj skorosti / V. I. Apatcev, G. M. Bilenko, A. M. Orlov // Nauka i tehnika transporta. 2014. № 1. S. 8–16. ISSN 2074-9325. (In Russian)
3. Buchackaja V. V. Prognozirovanie srednej uchastkovoj skorosti dvizhenija poezdov na osnove mnogofaktornoj regressionnoj modeli / V. V. Buchackaja, A. V. Gogoleva // Vestnik AGU. 2017. № 4 (211). S. 181–186. ISSN 2410-3225. (In Russian)
4. Vinogradov S. A. Vlijanie uslovij propuska poezdopotoka na velichinu jekspluatiruemogo parka lokomotivov: spec. 05.22.07 "Podvizhnoj sostav zheleznih dorog, tjaga poezdov i jelektrifikacija": dis. ... kand. tehn. nauk. M.: Gosudarstvennoe unitarnoe predpriyatje "Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut zheleznodorozhnogo transporta", 2002. (In Russian)
5. Eliseeva I. I. Obshhaja teorija statistiki / I. I. Eliseeva, M. M. Juzbashev. M.: Finansy i statistika, 2004. 656 s. ISBN 5-279-02414-7. (In Russian)
6. Marinin S. A. Vlijanie okon dlja remontnyh i stroitel'no-montazhnyh rabot na uchastkovuju

skorost' dvizhenija gruzovyh poezdov // Innovacionnyj transport. 2017. № 2. S. 55–58. ISSN 2311-164X. (In Russian)

7. Kornienko N. V. Zavisimost' uchastkovoju skorosti ot obespechennosti tranzitnyh poezdov lokomotivami // Zheleznaia doroga: put' v budushhee: Sbornik trudov I Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii aspirantov i molodyh uchenykh. M.: Nauchno-issledovatel'skij institut zheleznodorozhnogo transporta. 2022. S. 315–321. (In Russian)

8. Kornienko N. V. Faktor obespechenija poezdov lokomotivami na stancijah stykovanija rodov toka i ego vlijanie na uchastkovuju skorost' // Sbornik materialov II mezhdunarodnoj konferencii "Nauka 1520 VNIIZhT": zagljani za gorizont. M.: Nauchno-issledovatel'skij institut zheleznodorozhnogo transporta. 2023. S. 124–129. (In Russian)

9. Mehedov M. I. Metodika ocenki faktorov, opredelajushhikh stabil'nost' propuska gruzovyh poezdopotokov na gruzonaprjazhennykh napravlenijah: spec. 05.22.08 "Upravlenie processami perevozok": dis. ... kand. tehn. nauk. M.: Akcionerное obshhestvo "Nauchno-issledovatel'skij institut zheleznodorozhnogo transporta", 2016. (In Russian)

10. Sajbatalov R. F. Metody ustraneniya zatrudnenij v rabote poligonov zheleznodorozhnoj seti: spec. 05.22.08 "Upravlenie processami perevozok": dis. ... kand. tehn. nauk. Ekaterinburg: Ural'skij gosudarstvennyj universitet putej soobshhenija, 2020. (In Russian)

11. Marinin S. A. Opredelenie jekspluatsionnykh faktorov, vlijajushhikh na srednij ves gruzovogo poezda // Innovacionnyj transport. 2019. № 2. S. 56–61. ISSN 2311-164X. (In Russian)

12. Marinin S. A. Prognozirovanie pokazatelja jekspluatsionnoj raboty zheleznykh dorog "srednij ves gruzovogo poezda" // Transport: nauka, tehnika, upravlenie. Nauchnyj informacionnyj sbornik. 2021. № 2. S. 17–22. ISSN 0236-1914. (In Russian)

13. Sturges H. The choice of a class-interval // Journal of the American Statistical Association. 1926. № 21. P. 65–66.

14. Orlov A. I. Neparаметрические критерии согласия Колмогорова, Смирнова, омега-квадрат и ошибки при их применении // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2014. № 97. S. 31–45. ISSN 1990-4665. (In Russian)

15. Kremer N. Sh. Teorija verojatnostej i matematicheskaja statistika. M.: JuNITI-DANA, 2004. 573 s. ISBN 5-238-00573-3. (In Russian)

16. Kulikov E. I. Prikladnoj statisticheskij analiz. M.: Gorjachaja linija — Telekom, 2008. 464 s. ISBN 978-5-9912-0021-9. (In Russian)

17. Gmurman V. E. Teorija verojatnostej i matematicheskaja statistika. M.: Vysshaja shkola, 2004. 479 s. ISBN 5-06-004214-6. (In Russian)

18. Rohadgi V. K. An introduction to probability and statistics / V. K. Rohadgi, A. K. Md. Ehsanes. New Jersey: John Wiley & Sons, 2015. 700 p. ISBN 978-1-118-79964-2.

Received: 15.11.2023

Accepted: 05.02.2024

Author's information:

Sergey A. MARININ — PhD in Engineering;
marininsergey.nn@mail.ru