

Совершенствование системы оценки стабильности участка пути на перегоне для перспективного планирования выправочных работ

В.О. Певзнер, Р.А. Баронайте✉

Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ), г. Москва, Российская Федерация

✉baronayte.renata@vniizht.ru

Резюме

Актуальные требования организации технического обслуживания пути характеризуются двумя противоречащими друг другу тенденциями: с одной стороны, рост грузооборота с использованием поездов повышенной массы и вагонов с повышенной осевой нагрузкой ведет к накоплению расстройств пути и увеличению потребности в проведении работ, с другой – рост плотности поездопотока ограничивает время на производство профилактических и ремонтных работ. Существующая система планирования выправочных работ основана на оценке состояния пути по результатам проходов вагонов-путеизмерителей и включает жестко дифференцированные по классам пути сроки назначения работ. Такая система является статичной и не позволяет определить устойчивость характеристик состояния пути во времени или при наработке тоннажа. В современных условиях, когда потребность в работах на ряде участков превышает имеющиеся возможности в предоставлении дополнительных «окон» в графике движения поездов, система планирования выправочных работ должна основываться не на одномоментных характеристиках состояния пути, а на анализе темпа его деградации при наработке тоннажа до выхода на предельный уровень, требующий ограничения скоростей движения поездов. Таким образом, очередность назначения работ должна зависеть от темпов ухудшения состояния пути на конкретных участках. Это требует разработки специальной системы оценки стабильности геометрии рельсовой колеи с установлением порядка очередности производства работ на участках пути, различной протяженности. В качестве решения поставленной задачи в статье предлагается способ двухкомпонентной оценки стабильности геометрии рельсовой колеи, основанный на положении о том, что путь как система является протяженной по длине и изменяющейся в процессе эксплуатации. Представленная система статистических оценок стабильности геометрии рельсовой колеи позволит выделить места, требующие первоочередного проведения работ в условиях высокой плотности поездопотока при ограниченных ресурсах.

Ключевые слова

техническое обслуживание пути, геометрия рельсовой колеи, стабильность участка пути, поездопоток, выправка пути, планирование работ

Для цитирования

Певзнер В.О. Совершенствование системы оценки стабильности участка пути на перегоне для перспективного планирования выправочных работ / В.О. Певзнер, Р.А. Баронайте // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2024. № 3 (83). С. 31–40. DOI 10.26731/1813-9108.2024.3(83).31-40.

Информация о статье

поступила в редакцию: 12.04.2024 г.; поступила после рецензирования: 13.09.2024 г.; принята к публикации: 16.09.2024 г.

Improvement of the system for assessing the stability of the railway track section for prospective planning of straightening works

V.O. Pevzner, R.A. Baronaite✉

Scientific and Research Institute of Railway Transport (VNIIZhT), Moscow, the Russian Federation

✉baronayte.renata@vniizht.ru

Abstract

Modern requirements for the organization of track maintenance are characterized by two contradictory trends: on the one hand, an increase in freight turnover using high-weight trains and wagons with increased axial load leads to an accumulation of track disorders and an increase in the need for the works; on the other hand, an increase in train traffic density limits the time for preventive and repair work. The existing system of planning straightening works is based on an assessment of the condition of the track based on the results of the passage of track measuring wagons and includes rigidly differentiated terms of work assignment by track classes. Such a system is static and does not allow us to assess the stability of the characteristics of the state of the track in time or during tonnage operation. In modern conditions, when the need for work on a number of sections exceeds the available possibilities in providing additional «windows» in the train schedule, the system of planning the straightening works should be based not on one-time characteristics of the track condition, but on an analysis of the rate of the track degradation during tonnage running up to the maximum level requiring speed limits for train movements. Thus, the order of work assignment should be determined by the rate of deterioration of the track condition in specific sections. This requires the development of a special system for assessing the stability of the track gauge geometry with es-

establishing of the priority order for work on track sections of various lengths. As a solution to this problem, the article proposes a method for a two-component assessment of the stability of the rail track geometry based on the position that the track, as a system, is extensional in length and varying in the course of operation. The proposed system of statistical estimates of the stability of the rail track geometry will allow to identify places that require priority work under conditions of high density of train traffic with limited resources.

Keywords

track maintenance, track geometry, track section stability, train flow, track alignment, work planning

For citation

Pevzner V.O., Baronaite R.A. Sovershenstvovanie sistemy otsenki stabil'nosti uchastka puti na peregone dlya perspektivnogo planirovaniya vypravochnykh работ [Improvement of the system for assessing the railway track section stability for prospective planning of straightening works]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2024, no. 3(83), pp. 31–40. DOI: 10.26731/1813-9108.2024.3(83).31-40.

Article Info

Received: April 12, 2024; Revised: September 13, 2024; Accepted: September 16, 2024.

Введение

Современные условия работы пути характеризуются, с одной стороны, беспрецедентным ростом объемов перевозок, с другой – интенсификацией процессов накопления расстройств по геометрии рельсовой колеи при практически полном исчерпании резервов графика движения поездов для проведения предупредительных работ по техническому обслуживанию пути [1–5].

В таких условиях особую актуальность приобретает вопрос разработки специальной системы организации и планирования работ по устранению возникающих расстройств пути (выправочные работы), основанной не только на одномоментной оценке показателей, характеризующих состояние пути, но и на анализе тенденций изменения этих показателей в различных условиях эксплуатации и прогнозе изменения этих тенденций [6, 7].

Особого внимания требует вопрос рационального распределения имеющихся ресурсов на производство работ по оздоровлению участков пути на широких фронтах в условиях высокой плотности поездопотока (в настоящее время интервалы между поездами, особенно на Восточном полигоне, составляют до 6–8 мин.).

Основываясь на опыте эксплуатационных наблюдений и предыдущих исследований, можно констатировать, что в современных условиях система технического обслуживания пути должна включать несколько уровней решаемых задач:

– порядок определения потребности в работах оперативного характера на коротких фронтах;

– порядок определения потребности в работах на среднесрочный период по прогно-

зу изменения состояния пути для существующих и возможных перспективных условий эксплуатации на фронтах средней и большой протяженности;

– порядок определения потребности в работах по оздоровлению целого перегона с различным состоянием пути на широком фронте.

В основу этих подходов может быть положен порядок статистической обработки информации о состоянии пути, позволяющий устанавливать количественные характеристики геометрии рельсовой колеи в различных условиях эксплуатации на участке заданной длины за устойчивый период времени. Также необходима разработка новых подходов к оценке качества содержания пути.

Э.Я. Шац в 1981 г. отмечал, что в условиях ограниченности ресурсов и возможностей задача состоит не только в том, чтобы правильно найти участки пути, где требуется произвести ремонт, но и в том, чтобы определить по каждому такому участку степень его потребности в ремонте и на основе этого произвести оптимальное распределение имеющихся ресурсов [8].

В.В. Мишин предложил дифференцированную систему технического обслуживания пути, основанную на выделении однородных по техническим характеристикам (план, профиль), условиям эксплуатации, конструкции пути и воздействию подвижного состава, участков пути для оценки стабильности состояния пути и планирования путевых работ. Он отмечал, что длина минимально выделяемых отрезков пути обусловлена технико-экономической целесообразностью проведения на них определенного вида ремонта и составляет:

– для капитальных ремонтов – перегон, часть перегона длиной 5–15 км;

- для средних ремонтов – 500–1 000 м;
- для выправки – 100–300 м [9].

Применение такого дифференцированного подхода позволяет целенаправленно рассматривать ограниченные ремонтные ресурсы и сосредотачивать их именно на тех участках, где вероятность появления отказа пути существенно выше, и которые наиболее нуждаются в оздоровлении.

В современных условиях, когда потребность в работах на ряде участков превышает имеющиеся возможности в предоставлении дополнительных «окон» в графике движения поездов, система планирования выправочных работ должна основываться не на одномоментных характеристиках состояния пути, а на анализе темпа деградации пути при наработке тоннажа до выхода на предельный уровень, требующий ограничения скоростей движения поездов. Это требует разработки специальной системы оценки стабильности геометрии рельсовой колеи с определением порядка очередности производства работ на участках пути различной протяженности. В качестве решения поставленной задачи в статье предлагается способ двухкомпонентной оценки стабильности геометрии рельсовой колеи, основанный на положении о том, что путь как система является протяженной по длине и изменяющейся в процессе эксплуатации.

Целью исследования является иллюстрация результатов анализа стабильности геометрии рельсовой колеи в различных условиях эксплуатации применительно к системе технического обслуживания пути.

Основные положения способа двухкомпонентной оценки стабильности участка пути

Стандартные методы оценки стабильности пути, в том числе согласно действующей нормативной документации [10, 11], в настоящее время включают определение таких характеристик, как среднее значение исследуемой выборки M и среднеквадратическое отклонение (СКО) выборки σ [12, 13].

Применительно к оценке геометрии рельсовой колеи в настоящей статье стандартные методы оценки стабильности предлагается дополнить двухкомпонентной оценкой стабильности одновременно по длине и во времени [14].

Стабильность – это способность системы функционировать, не изменяя собственную структуру, и находиться в равновесии. Это определение должно быть неизменным во времени.

Численная оценка показателя стабильности – это минимальный разброс статистических характеристик геометрии рельсовой колеи участка пути по его длине и за рассматриваемый период времени.

В работе З.Л. Крейниса указывалось, что процесс отклонения очертаний рельсовых нитей на отдельных отрезках пути можно считать стационарным и эргодическим [15].

Основываясь на изложенном, принимаем, что на отрезке пути с постоянными характеристиками в плане и профиле при условно постоянном качестве технического обслуживания пути (участок в пределах одного околотка) процесс накопления расстройств пути является стационарным и эргодическим.

Стационарным случайным процессом в узком смысле называется случайный процесс $X(t)$, все вероятностные характеристики которого не меняются со временем и, следовательно, все n -мерные распределения зависят не от моментов времени t_1, t_2, \dots, t_n , а от длительности временных промежутков τ_i .

Стационарный случайный процесс называется эргодическим, если при определении любых его статистических характеристик усреднение по множеству (ансамблю) реализаций эквивалентно усреднению по времени одной, теоретически бесконечно длинной реализации.

Таким образом, оценка стабильности участка пути с использованием предлагаемого способа позволяет установить, как меняется состояние пути на реализации достаточно большой протяженности в процессе эксплуатации за устойчивый период времени.

Для оценки стабильности участка пути заданной длины (перегона, состоящего из L км) по двухкомпонентному способу определяются:

- показатели стабильности пути по каждому километру в момент времени t ;
- показатели стабильности пути в целом по перегону (участку пути) в момент времени t ;
- показатели стабильности пути по каждому километру за год;
- показатели стабильности пути в целом по перегону (участку пути) за год.

За единицу анализа принимается количество отступлений II степени (планового устранения) по геометрии рельсовой колеи.

На рис. 1 к численным показателям, характеризующим стабильность пути по геометрии рельсовой колеи на отдельных километрах, относятся:

– N_L – суммарное количество отступлений по геометрии рельсовой рельсовой колеи на участке пути длиной L ;

– M_L – средняя величина количества отступлений по геометрии рельсовой колеи на участке пути длиной L ;

– σ_L – среднеквадратическое отклонение количества отступлений по геометрии рельсовой рельсовой колеи на участке пути длиной L ;

– C_{VL} – коэффициент вариации, характеризующий плотность распределения отступлений по геометрии рельсовой колеи по длине отрезка пути длиной L , определяемый по формуле (1):

$$C_{VL} = \frac{\sigma_L}{M_L}. \quad (1)$$

Для оценки стабильности геометрии рельсовой колеи на реализации километров в процессе эксплуатации (двухкомпонентный способ) определяются следующие показатели.

1. Изменчивость во времени средней величины исследуемого параметра, распределенного по длине участка пути, предлагается оценивать по показателю, характеризующему среднее значение исследуемого параметра в годовой динамике t на участке пути длиной L по формуле (2):

$$M_L^{t(T)} = \frac{\sum_{i=1}^{12} M_L}{12}, \quad (2)$$

где 12 – число месяцев за рассматриваемый период.

2. Количественную характеристику стабильности участка пути предлагается оценивать по величине, характеризующей изменчивость (разброс) значений исследуемого параметра в годовой динамике t на участке пути длиной L по формуле (3):

$$\sigma_{\delta L}^{t(T)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{12} (\sigma_L - \overline{\sigma_L^{t(T)}})^2}{12}}, \quad (3)$$

где $\overline{\sigma_L^{t(T)}}$ – показатель, характеризующий среднее значение изменчивости (средний разброс) значений исследуемого параметра в годовой динамике t на участке пути длиной L , определяемый по формуле (4):

$$\overline{\sigma_L^{t(T)}} = \frac{\sum_{i=1}^{12} \sigma_L}{12}. \quad (4)$$

Два последних показателя характеризуют линейный размах (разброс) системы во времени (в узком или широком диапазоне значений). Другими словами, служат для оценки энтропии (разброса) системы во времени (в процессе эксплуатации).

Оценка степени стабильности участка пути может быть выполнена по характеру наклона прямой роста числа отступлений, как

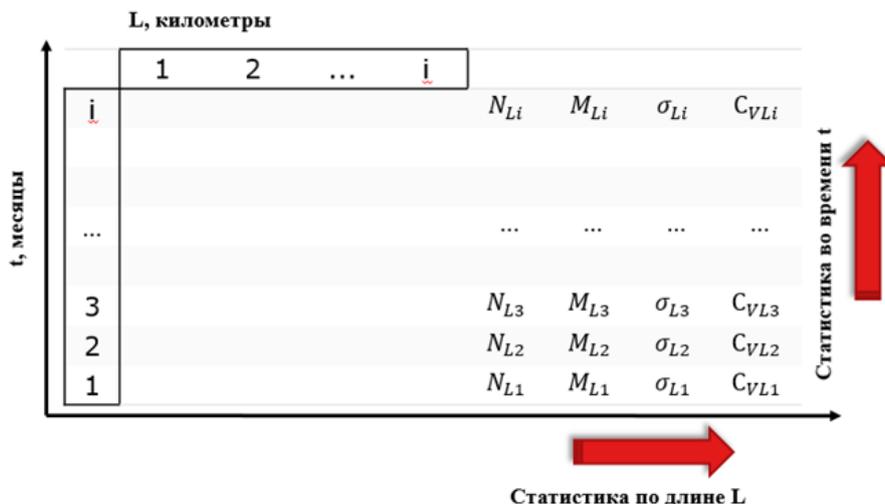


Рис. 1. Общий вид способа двухкомпонентной оценки стабильности участка пути
Fig. 1. A general view of the method for a two-component assessment of the track section stability

это показано в работе А.В. Дворникова [16]. При этом можно рассмотреть два случая.

1. Применение показателя стабильности в качестве дополнительного критерия в системе выбора мест, требующих первоочередного проведения работ, для случая, когда потребности превышают имеющиеся возможности (рис. 2). Как видно на рис. 2, участок 3 менее стабилен, чем участки 2 и 1. Таким образом, на этом участке выправочные работы должны назначаться в первую очередь.

2. Применение показателя стабильности при прогнозировании потребности в работах в зависимости от темпа ухудшения состояния пути на конкретном участке (рис. 3).

Как следует из рис. 3, на участке 1 интенсивность ухудшения состояния пути выше, чем на участке 2. Таким образом, участок 1 является

более приоритетным при планировании работ на среднесрочный период.

Обобщив сказанное можно констатировать, что критерий назначений выправки пути должен быть не одномоментным, а основанным на постоянном мониторинге стабильности состояния пути и анализе тенденций ее изменения при наработке тоннажа.

Обобщенные результаты анализа стабильности на отдельных километрах грузовых ходов

Для выявления закономерностей изменения состояния пути при наработке тоннажа на первом этапе анализ стабильности параметров геометрии рельсовой колеи проводился по отдельным километрам.

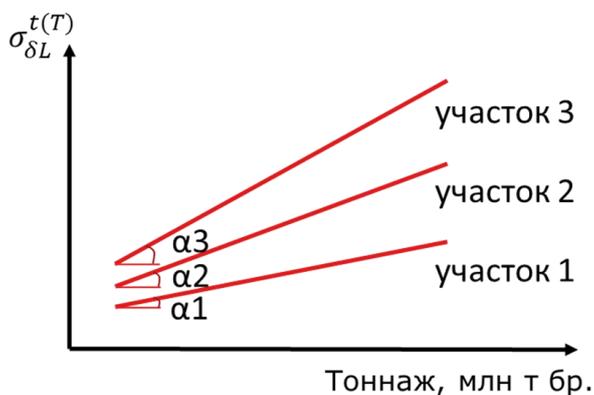


Рис. 2. Применение показателя стабильности в системе выбора мест, требующих первоочередного проведения работ ($\alpha_1 - \alpha_3$ – углы наклона изменения показателя стабильности геометрии рельсовой колеи по двухкомпонентной оценке на трех участках ($\alpha_3 > \alpha_2 > \alpha_1$))

Fig. 2. Application of the stability indicator in the system of selecting places requiring priority work ($\alpha_1 - \alpha_3$ – are the angles of inclination of the change in the stability indicator of the geometry of the rail track according to a two-component assessment on 3 sections ($\alpha_3 > \alpha_2 > \alpha_1$))

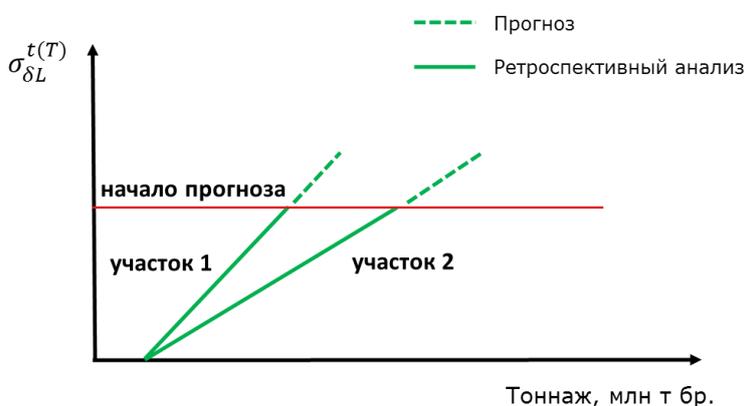


Рис. 3. Применение показателя стабильности при прогнозировании потребности в работах в зависимости от темпа ухудшения состояния пути на конкретном участке

Fig. 3. The use of the stability indicator in predicting the need for work depending on the rate of deterioration of the track in a particular section

Для анализа были подобраны опытные участки трех дорог грузового хода: Горьковской, Южно-Уральской и Северной. Эксплуатационные наблюдения, основанные на статистическом анализе данных проходов путеизмерителей, проводились в течение двухлетнего периода.

На примерах, приведенных на рис. 4 и 5, показано, что процессы накопления отступлений по геометрии рельсовой колеи при наработке тоннажа характеризуются стадиями ста-

билизации, стабильной работы и периодами роста расстройств.

Так, на первом участке (рис. 4), где в основном проводилась локальная выправка пути (на длине 200–300 м), даже при наработке тоннажа менее 450 млн·т брутто после капитального ремонта, периоды стабильной работы пути практически отсутствуют.

На втором участке с наработкой тоннажа более 850 млн·т брутто после капитального ремонта (рис. 5) наблюдается длительный период

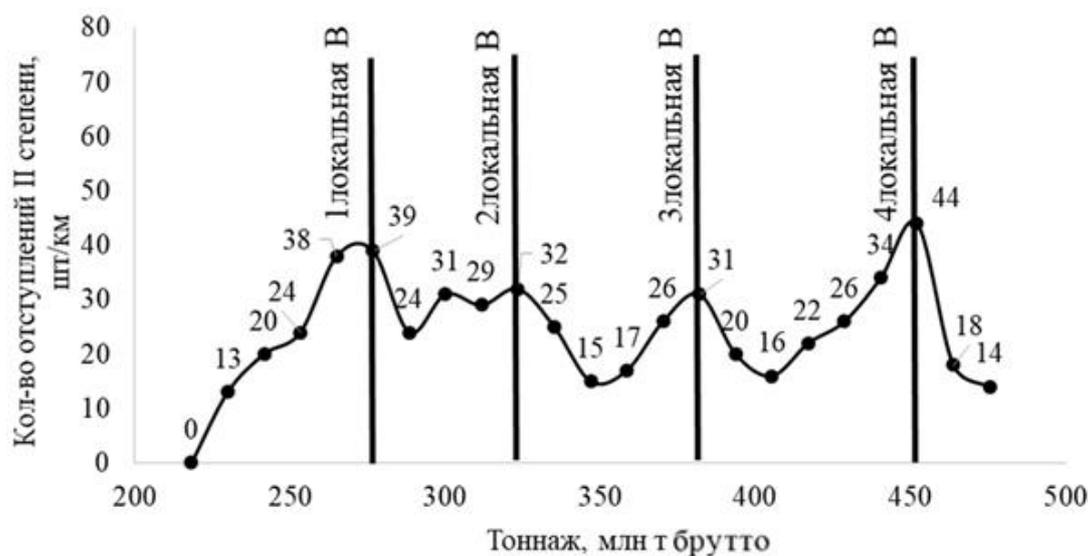


Рис. 4. Динамика изменения количества отступлений II степени по геометрии рельсовой колеи на километре с пропущенным тоннажем после капитального ремонта более 850 млн·т брутто (В – выправка пути)

Fig. 4. Dynamics of changes in the number of grade II deviations in the geometry of the rail track per kilometer with put through tonnage after major repairs up to 450 million tons gross (B – track straightening)

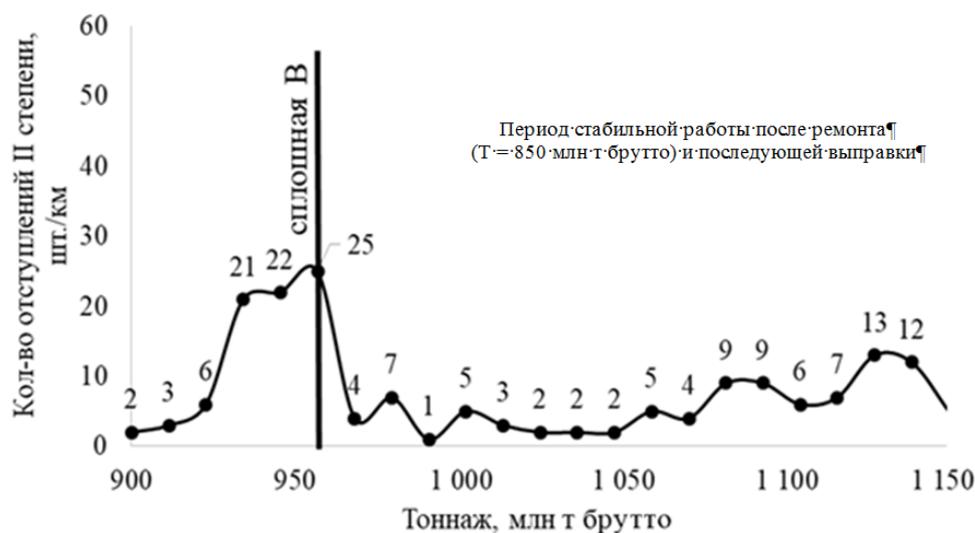


Рис. 5. Динамика изменения количества отступлений II степени по геометрии рельсовой колеи на километре с пропущенным тоннажем после капитального ремонта более 850 млн т брутто (В – выправка пути)

Fig. 5. Dynamics of changes in the number of grade II deviations in the geometry of the rail track per kilometer with put through tonnage after major repairs of more than 850 million tons of brutto (B – track straightening)

стабильной работы пути после промежуточного ремонта (РС), проведенного в соответствии с ремонтной схемой до 1,4 млрд-т брутто (КРН-В-В-РС(РП)-В-П-КРН) [17], и последующей выправки пути.

Результаты проведенного анализа показали, что ремонт третьего уровня (РС) и последующая выправка пути позволили обеспечить длительный стабильный период после ремонта даже при высокой наработке тоннажа.

Обобщенные результаты анализа стабильности геометрии рельсовой колеи на перегонах по двухкомпонентному способу

Анализ стабильности геометрии рельсовой колеи на перегонах проводился по ансамблю данных с участков, сгруппированных по диапазонам пропущенного тоннажа:

– участки с пропущенным тоннажем менее 350 млн-т брутто (принимается как наибольший диапазон стабилизации пути после капитального ремонта);

– участки с пропущенным тоннажем 350–700 млн-т брутто (период стабильной работы пути);

– участки с пропущенным тоннажем 700–850 млн-т брутто (период роста расстройств для случая, когда капиталь-

ный/промежуточный вид ремонта при тоннаже 700 млн-т брутто не проводился);

– участки с пропущенным тоннажем более 850 млн-т брутто. Общий объем статистической выборки составил более 11 тыс. точек за двухлетний период наблюдений.

Результаты анализа по ансамблю сгруппированных данных, взятых с участков (перегонов) с одинаковой схемой организации ремонтов пути при различном нарастающем пропущенном тоннаже, показали, что даже при одинаковых условиях эксплуатации состояние пути на участках может различаться в широких диапазонах значений, что обусловлено различной схемой организации работ по техническому обслуживанию пути и условиями эксплуатации.

Для определения интенсивности прироста приведенных показателей стабильности на различных стадиях жизненного цикла пути были получены зависимости, характеризующие динамику изменения показателей стабильности пути при наработке тоннажа по ансамблю сгруппированных данных и различном нарастающем пропущенном тоннаже.

На примере участков Горьковской дирекции инфраструктуры можно констатировать, что процесс изменения показателей стабильности пути по длине и во времени (при наработке

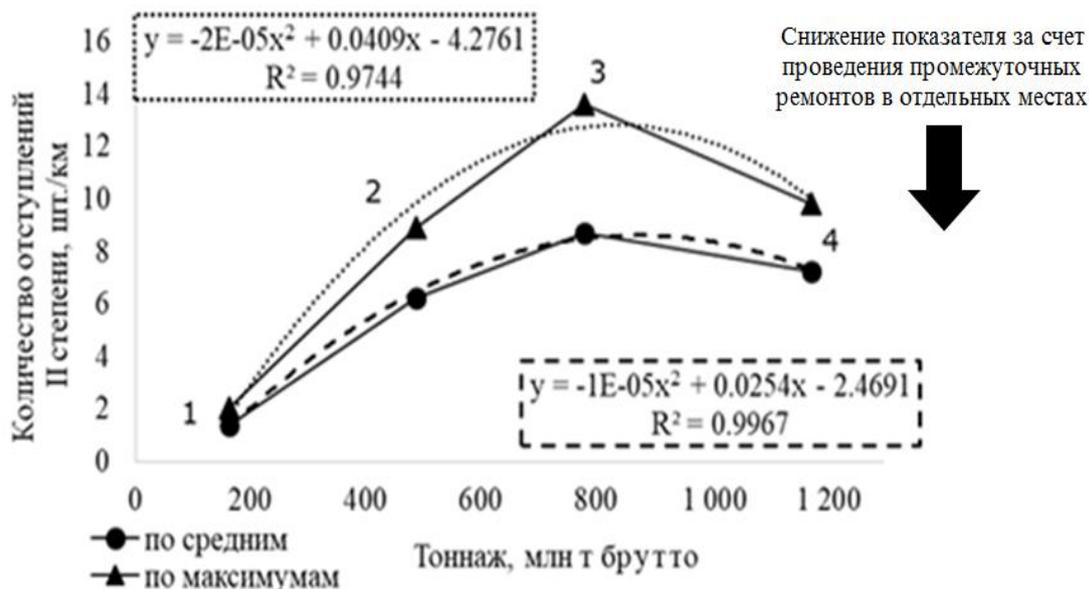


Рис. 6. Зависимости среднегодового количества отступлений II степени (N) при наработке тоннажа, полученные по ансамблю данных с перегонов Горьковской дирекции инфраструктуры (1–4 – стадии жизненного цикла пути)

Fig. 6. Dependencies of the average annual number of grade II deviations (N) during tonnage operating time, obtained from the ensemble of data from the stages of the Gor'kii Directorate of Infrastructure (1–4 – railway life cycle stages)

тоннажа) не является равномерным и в общем виде описывается:

– по показателю $M_L^{(T)}$ – полиномиальными функциями второго порядка возрастающего и убывающего характера (рис. 6);

– по показателям $\sigma_{\delta L}^{(T)}$ и $\overline{\sigma_L^{(T)}}$ – логарифмическими (в отдельных случаях – линейными) функциями возрастающего характера (рис. 7).

Как видно на рис. 6 на участках с большим пропущенным тоннажом в отдельных местах путь более стабилен, чем при меньшем пропущенном тоннаже. Это может быть обусловлено выполнением промежуточных ремонтов пути, предусмотренных ремонтными схемами (до наработки 1 400 млн·т брутто) [17]. Полученные результаты хорошо коррелируются с ранее проведенными исследованиями [16, 18].

Наоборот, максимальные значения показателей изменчивости статистической выборки по СКО (рис. 7) выявлены на участках, пропустивших наибольший тоннаж. Это указывает на то, что несмотря на снижение величины среднегодового количества отступлений по геометрии рельсовой колеи, на этих участках существует опасность возможного резкого ухудшения состояния пути.

Полученные результаты доказывают влияние состояния пути, условий эксплуатации и системы организации технического обслуживания пути на стабильность геометрии рельсовой колеи при наработке тоннажа.

Заключение

По результатам проведенного исследования можно констатировать, что в системе организации технического обслуживания пути для принятия управленческих решений необходимо учитывать, что железнодорожный путь – изменяющаяся (деградирующая и восстанавливаемая за счет проведения работ) система и для оценки закономерностей ее изменения требуется применение нестандартных подходов.

В основу этих подходов может быть положена система статистической обработки информации о состоянии геометрии рельсовой колеи, позволяющая устанавливать количественные характеристики геометрии рельсовой колеи в различных условиях эксплуатации (двухкомпонентная система).

Потребность и очередность проведения работ на участках достаточно большой протяженности на среднесрочную перспективу в современных условиях необходимо оценивать не только по одномоментным характеристикам состоя-

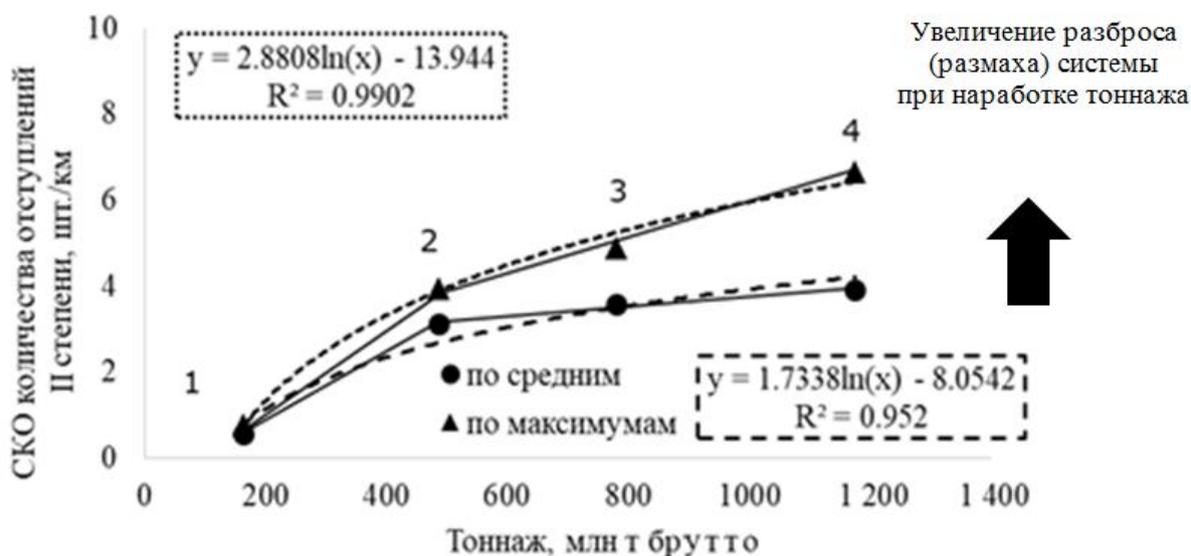


Рис. 7. Зависимости среднеквадратического отклонения количества отступлений II степени (N) при наработке тоннажа, полученные по ансамблю данных с перегонов Горьковской дирекции инфраструктуры (1–4 – стадии жизненного цикла пути)

Fig. 7. Dependencies of the standard deviation of the number of grade II deviations (N) during tonnage operating time, obtained from the ensemble of data from the stages of the Gor'kii Directorate of Infrastructure (1–4 – railway life cycle stages)

ния пути, но и по тенденциям его изменения в процессе эксплуатации. Для этого предлагается способ двухкомпонентной оценки стабильности участка пути по параметрам, одновременно распределенным по длине и во времени.

Предлагаемый способ позволит своевременно выявлять участки с нестабильным состоянием пути в пределах отрезков (перегонов) большой протяженности для перспективного планирования работ по их оздоровлению.

Список литературы

1. Гапанович В.А. Вопросы взаимодействия подвижного состава и инфраструктуры при тяжеловесном движении // Железнодорожный транспорт. 2016. № 10. С. 9–15.
2. Воздействие на путь вагонов с повышенной осевой нагрузкой / В.В. Третьяков, В.О. Певзнер, И.Б. Петропавловская и др. // Вестн. науч.-исслед. ин-та ж.-д. трансп. 2016. Т. 75. №. 4. С. 233–238.
3. Певзнер В.О., Гринь Е.Н. Совершенствование системы управления техническим обслуживанием пути // Железнодорожный транспорт. 2021. № 2. С. 54–59.
4. Шапетько К.В. Исследования накопления деформаций железнодорожного пути на участке испытаний вагонов с осевой нагрузкой 27 тс // Вестн. науч.-исслед. ин-та ж.-д. трансп. 2017. Т. 76. № 4. С. 238–242.
5. Щепотин Г.К. Управление техническим состоянием пути в условиях модернизации Восточного полигона // Путь и путевое хозяйство. 2022. № 3. С. 35–37.
6. Атапин В.В., Нечушкин А.С. Исследование деградационных процессов геометрии рельсовой колеи – путь к прогнозированию состояния верхнего строения пути // Вестник транспорта Поволжья. 2022. № 2 (92). С. 31–37.
7. Бельтюков В.П. Принципы прогнозирования изменения технического состояния железнодорожного пути // Инфраструктура транспорта. 2022. № 1 (3). С. 65–78.
8. Шац Э.Я. Методика оптимального планирования капитального ремонта пути в пределах железной дороги : автореф. дисс. канд. техн. наук. М., 1981. 22 с.
9. Мишин В.В. Прогнозирование состояния пути. Проблемы и решения // Путь и путевое хозяйство. 2011. № 7. С. 2–6.
10. Об утверждении методики оценки воздействия подвижного состава на путь по условиям обеспечения надежности : распоряжение ОАО «РЖД» № 2706р от 22.12.2017. Доступ из справ.-правовой системы АСПИЖТ в локал. сети.
11. Об утверждении инструкции по оценке состояния рельсовой колеи путеизмерительными средствами и мерам по обеспечению безопасности движения поездов : распоряжение ОАО «РЖД» № 436/р от 28.02.2020 г. (ред. 29.06.2023). Доступ из справ.-правовой системы АСПИЖТ в локал. сети.
12. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М. : Высш. шк., 1999. 576 с.
13. Кремер Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика. М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2004. 573 с.
14. Певзнер В.О. Первые итоги эксплуатационных наблюдений в кривых участках пути с суженной шириной колеи // Тр. Всесоюз. заоч. ин-та инженеров ж.-д. трансп. М., 1969. Вып. 43. С. 15–26.
15. Крейнис З.Л., Зеленая Л.В. Корреляционный анализ очертаний рельсовых нитей на прямых участках железнодорожного пути // Вестн. науч.-исслед. ин-та ж.-д. трансп. 1975. № 5. С. 40–43.
16. Дворников А.В. Выявление нестабильных участков пути и прогнозирование их состояния : автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2008. 24 с.
17. Об утверждении правил назначения ремонтов железнодорожного пути : распоряжение ОАО «РЖД» № 2888/р от 17.12.2021 (ред. 14.12.2023). Доступ из справ.-правовой системы АСПИЖТ в локал. сети.
18. Шеронова Т.Н. Совершенствование системы технического обслуживания пути с целью увеличения межремонтного ресурса : автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2008. 24 с.

References

1. Gapanovich V.A. Voprosy vzaimodeistviya podvizhnogo sostava i infrastruktury pri tyazhelovesnom dvizhenii [Issues of interaction of rolling stock and infrastructure in heavy traffic]. *Zheleznodorozhnyi transport* [Railway Transport], 2016, no. 10, pp. 9–15.
2. Tret'yakov V.V., Pevzner V.O., Petropavlovskaya I.B., Gromova T.I., Tret'yakov I.V., Shapet'ko K.V., Smelyanskaya I.S., Tomilenko A.S. Vozdeistvie na put' vagonov s povyshennoi osevoi nagruzkoj [Impact on the track of wagons with increased axial load]. *Vestnik nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta* [Bulletin of the Scientific Research Institute of Railway Transport], 2016, vol. 75, no. 4, pp. 233–238.
3. Pevzner V.O., Grin' E.N. Sovershenstvovanie sistemy upravleniya tekhnicheskimi obsluzhivaniem puti [Improvement of the track maintenance management system]. *Zheleznodorozhnyi transport* [Railway Transport], 2021, no. 2, pp. 54–59.
4. Shapet'ko, K.V. Issledovaniya nakopleniya deformatsii zheleznodorozhnogo puti na uchastke ispytaniya vagonov s osevoi nagruzkoj 27 ts [Studies of the accumulation of railway track deformations at the testing site of wagons with an axial load of 27 tc]. *Vestnik nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta* [Bulletin of the Scientific Research Institute of Railway Transport], 2017, vol. 76, no. 4, pp. 238–242.
5. Shchepotin G.K. Upravlenie tekhnicheskimi sostoyaniem puti v usloviyakh modernizatsii Vostochnogo poligona [Management of the technical condition of the track in the conditions of modernization of the Eastern landfill]. *Put' i putevoe khozyaistvo* [Track and Track Facilities], 2022, no. 3, pp. 35–37.
6. Atapin V.V., Nechushkin A.S. Issledovanie degradatsionnykh protsessov geometrii rel'sovoi kolei – put' k prognozirovaniyu sostoyaniya verkhnego stroeniya puti [The study of degradation processes of the geometry of the rail track is the way to predict the state of the upper structure of the track]. *Vestnik transporta Povolzh'ya* [Bulletin of transport of the Volga region], 2022, no. 2 (92), pp. 31–37.

7. Bel'tyukov V.P. Printsipy prognozirovaniya izmeneniya tekhnicheskogo sostoyaniya zhelezнодорожного пути [Principles of forecasting changes in the technical condition of a railway track]. *Infrastruktura transporta* [Transport infrastructure], 2022, no. 1 (3), pp. 65–78.

8. Shats E.Ya. Metodika optimal'nogo planirovaniya kapital'nogo remonta puti v predelakh zheleznoy dorogi [The methodology of optimal planning of the overhaul of the track within the railway]. Ph.D.'s theses. Moscow, 1981. 22 p.

9. Mishin V.V. Prognozirovanie sostoyaniya puti. Problemy i resheniya [Predicting the state of the track. Problems and solutions]. *Put' i putevoe khozyaistvo* [Track and Track Facilities], 2011, no. 7, pp. 2–6.

10. Rasporyazhenie OAO «RZhD» № 2706r ot 22.12.2017 «Ob utverzhdenii metodiki otsenki vozdeistviya podvizhnogo sostava na put' po usloviyam obespecheniya nadezhnosti» [Order of JSC «Russian Railways» no. 2706r dated December 22, 2017 «On approval of the methodology for assessing the impact of rolling stock on the track under the conditions of ensuring reliability»].

11. Rasporyazhenie OAO «RZhD» №436/r ot 28.02.2020 g. «Ob utverzhdenii instruksii po otsenke sostoyaniya rel'sovoi kolei puteizmeritel'nymi sredstvami i meram po obespecheniyu bezopasnosti dvizheniya poezdov» (red. 29.06.2023) [Order of JSC «Russian Railways» no. 436/r «On approval of the instructions for assessing the condition of the rail gauge with track measuring devices and measures to ensure the safety of train traffic» (ed. June 29, 2023)].

12. Venttsel' E.S. Teoriya veroyatnosti [Probability theory]. Moscow: Vysshaya shkola Publ., 1999. 576 p.

13. Kremer N.Sh. Teoriya veroyatnosti i matematicheskaya statistika [Probability theory and mathematical statistics]. Moscow: YUNITI-DANA Publ., 2004. 573 p.

14. Pevzner V.O. Pervye itogi ekspluatatsionnykh nablyudenii v krivykh uchastkakh puti s suzhennoi shirinoy kolei [The first results of operational observations in curved sections of track with a narrowed track width]. *Trudy Vsesoyuznogo zaochnogo instituta inzhenerov zhelezнодорожного transporta* [Proceedings of the All-Union Correspondence Institute of Railway Engineers], 1969, iss. 43, pp. 15–26.

15. Kreinis Z.L., Zelenaya L.V. Korrelyatsionnyi analiz ochertanii rel'sovykh nitei na pryamykh uchastkakh zhelezнодорожного пути [Correlation analysis of the outlines of rail threads on straight sections of the railway track]. *Vestnik Vsesoyuznogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zhelezнодорожного transporta* [Bulletin of the All-Union Scientific Research Institute of Railway Transport], 1975, no. 5, pp. 40–43.

16. Dvornikov A.V. Vyyavlenie nestabil'nykh uchastkov puti i prognozirovanie ikh sostoyaniya [Identification of unstable sections of the track and forecasting their condition]. Ph.D.'s theses. Moscow, 2008. 24 p.

17. Rasporyazhenie OAO «RZhD» № 2888/r ot 17.12.2021 «Ob utverzhdenii pravil naznacheniya remontov zhelezнодорожного пути» (red. 14.12.2023) [Order of JSC «Russian Railways» no. 2888/r dated December 17, 2021 «On approval of the rules for the appointment of railway track repairs» (ed. December 14, 2023)].

18. Sheronova T.N. Sovershenstvovanie sistemy tekhnicheskogo obsluzhivaniya puti s tsel'yu uvelicheniya mezhremontnogo resursa [Improvement of the track maintenance system in order to increase the repair life]. Ph.D.'s theses. Moscow, 2008. 24 p.

Информация об авторах

Певзнер Виктор Ошерович, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Научного центра «Инфраструктура», Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ), г. Москва; e-mail: vpevzner@list.ru.

Баронайте Рената Арвидасовна, ведущий инженер Научного центра «Инфраструктура», Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ), г. Москва; e-mail: baronayte.renata@vniizht.ru.

Information about the authors

Viktor O. Pevzner, Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Chief Researcher of the Scientific Center «Infrastructure», Scientific Research Institute of Railway Transport (VNIIZHT), Moscow; e-mail: vpevzner@list.ru.

Renata A. Baronaitė, Leading Engineer of the Scientific Center «Infrastructure», Scientific Research Institute of Railway Transport (VNIIZHT), Moscow; e-mail: baronayte.renata@vniizht.ru.