

Научная статья

УДК 625.1

doi:10.52170/1815-9265_2026_79_23

Обоснование необходимости дополнительных критериев назначения планово-предупредительной выправки пути на основе спектрального анализа вертикальных неровностей рельсовой колеи

Алексей Леонидович Ланис^{1✉}, Никита Сергеевич Вихт²,
Александр Александрович Севостьянов³

^{1, 2, 3} Сибирский государственный университет путей сообщения, Новосибирск, Россия

¹ alangeo@bk.ru✉

² nikitaviht@yandex.ru

³ seva2233@yandex.ru

Аннотация. В данной статье обоснована необходимость использования спектральных показателей вертикальных неровностей рельсовой колеи в качестве дополнительных диагностических признаков при назначении планово-предупредительной выправки пути на особо грузонапряженных линиях. Выполнен анализ действующих критериев выправки, установленных правилами назначения ремонтов.

Предложены авторские спектральные показатели: энергия коротких волн (диапазоны D0–D1 по классификации EN 13848), индекс системной деградации и доминирующая длина волны. Для верификации использованы модельные данные, генерированные суперпозицией гармоник с заданным распределением энергии по диапазонам. Восстановление натурного профиля выполнено с помощью быстрого преобразования Фурье и обратной передаточной функции хордальной системы.

Показано, что действующий критерий (количество отступлений 2-й степени за три весенних месяца) имеет реактивный характер и не учитывает пространственную структуру неровностей. Статистический анализ 3205 км Транссибирской магистрали подтвердил, что лишь 25,6 % отступлений фиксируется весной.

Предложенные показатели позволили надежно дифференцировать модельные сценарии: для сценария с преобладанием коротких волн (балластные дефекты) энергия коротких волн составила 77 % от общей, доминирующая длина волны – 2,78 м; для сценария с длинными волнами (системные деформации земляного полотна) – 20 % и 125 м соответственно. При условно одинаковом числе отступлений (25 шт./км) традиционный подход назначает выправку обоим участкам, тогда как спектральный анализ рекомендует дополнительную диагностику для сценария с системными деформациями, что позволит избежать неэффективных затрат. Результаты могут быть использованы в системах диагностики и планирования ремонтов железнодорожного пути, особенно в условиях сокращения инвестиционных программ ОАО «РЖД».

Полученные результаты обосновывают необходимость включения спектрального анализа вертикальных неровностей в систему дополнительных критериев при планировании планово-предупредительной выправки. Дальнейшие исследования направлены на выявление критических скоростей роста энергии коротких волн для упреждающего назначения выправки.

Ключевые слова: геометрия рельсовой колеи, вертикальные неровности, спектральный анализ, планово-предупредительная выправка, балластные дефекты, земляное полотно

Для цитирования: Ланис А. Л., Вихт Н. С., Севостьянов А. А. Обоснование необходимости дополнительных критериев назначения планово-предупредительной выправки пути на основе спектрального анализа вертикальных неровностей рельсовой колеи // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2026. № 2 (79). С. 23–32. DOI 10.52170/1815-9265_2026_79_23.

Original article

Justification of the need for additional criteria for scheduling preventive track surfacing based on spectral analysis of vertical irregularities in the track gauge

Alexey L. Lanis^{1✉}, Nikita S. Vikht², Alexander A. Sevostyanov³

^{1, 2, 3} Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

¹ alangeo@bk.ru✉

² nikitaviht@yandex.ru

³ seva2233@yandex.ru

Abstract. This article justifies the need to use spectral indicators of vertical rail track irregularities as additional diagnostic features when assigning scheduled preventive track surfacing on lines with particularly heavy loads. An analysis of the current B criteria established by the Rules for Assigning Repairs has been performed.

The authors propose their own spectral indicators: short wave energy (ranges D0–D1 according to EN 13848 classification), system degradation index, and dominant wavelength. Model data generated by superposition of harmonics with a given energy distribution across ranges was used for verification. The full-scale profile was restored using fast Fourier transform and the inverse transfer function of the chordal system.

It is shown that the current criterion (the number of second-degree deviations over three spring months) is reactive in nature and does not consider the spatial structure of irregularities. Statistical analysis of 3,205 km of the Trans-Siberian Railway confirmed that only 25.6% of deviations are recorded in spring.

The proposed indicators made it possible to reliably differentiate between model scenarios: for the scenario with a predominance of short waves (ballast defects), the energy of short waves accounted for 77% of the total, with a dominant wavelength of 2.78 m; for the scenario with long waves (systemic deformations of the subgrade), it was 20% and 125 m, respectively. With a conditionally equal number of deviations (25 per km), the traditional approach assigns both sections, while spectral analysis recommends additional diagnostics for the scenario with systemic deformations, which avoids inefficient costs. The results can be used in railway track diagnosis and repair planning systems, especially in the context of reduced investment programs by Russian Railways.

The results obtained justify the need to include spectral analysis of vertical irregularities in the system of additional criteria when planning repairs. Further research is aimed at identifying critical short-wave energy growth rates for proactive repair scheduling.

Keywords: rail track geometry, vertical irregularities, spectral analysis, scheduling preventive surfacing, ballast defects, roadbed

For citation: Lanis A. L., Vikht N. S., Sevostyanov A. A. Justification of the need for additional criteria for scheduling preventive track surfacing based on spectral analysis of vertical irregularities in the track gauge. *The Siberian Transport University Bulletin*. 2026;(79):23–32. (In Russ.). DOI 10.52170/1815-9265_2026_79_23.

Введение

Безопасность движения и надежность эксплуатации железнодорожного пути в значительной степени определяются качеством геометрии рельсовой колеи (ГРК). Согласно отчетным данным Западно-Сибирской дирекции инфраструктуры за 2025 г. зафиксировано 27 нарушений безопасности движения, из которых 18 отнесены к ответственности службы пути, а 14 классифицированы как сходы подвижного состава при маневровых работах по причине несоответствия параметров ГРК [1]. Это подтверждает высокую чувствительность показателей безопасности к состоянию рельсовой колеи и необходимость совершенствования методов ее диагностики и обслуживания [2].

В работе [3] выявлена необходимость пересмотра существующих требований к оценке геометрии рельсовой колеи с учетом влияния коротковолновых неровностей. В частности, показано, что вертикальные неровности продольного профиля с длинами волн 0,44–1,48 м в зоне сопряжения элементов рамы тележки электропоезда «Ласточка» вызывают напряжения до 33 МПа, что составляет порядка 67 % от максимальных зарегистрированных значений в рассматриваемых элементах конструкции [3]. Также установлено, что вертикальные неровности пути в диапазоне длин волн 0,5–1,5 м формируют до 70 % напряженного состояния обрессоренных несущих элементов тележек тягового подвижного состава [4].

В действующих отечественных нормативных документах оценка коротковолновых неровностей с длинами волн менее 3 м отсутствует, что снижает полноту контроля состояния пути и может негативно отражаться на ресурсе элементов верхнего строения и подвижного состава. Дополнительно установлено, что применяемые методики регистрации параметров ГРК в ряде случаев не обеспечивают корректную фиксацию неровностей указанного диапазона [5].

Ограничения существующих подходов во многом связаны с использованием хордового метода в качестве способа получения данных о неровностях пути, затрудняющего идентификацию коротковолновых составляющих продольного профиля. В европейской практике, напротив, акцент делается на цифровой спектральной обработке измерительных сигналов и выделении неровностей в заданных диапазонах длин волн [6].

Так, в европейских странах широко применяются нормативы, основанные на спектральных плотностях мощности неровностей ГРК. Вертикальные неровности разделяются на составляющие соответствующего диапазона длин волн (табл. 1). Для выявления их из процесса регистрации мобильными путеизмерительными средствами используются такие методы фильтрации, как фильтр Чебышева (для диапазона D1) и метод обратного преобразования Фурье. Зарубежная практика демонстрирует эффектив-

ность спектрального анализа продольного профиля пути через спектральную плотность мощности неровностей в различных диапазонах длин волн. Такой подход позволяет выявлять доминирующие пространственные масштабы деформаций пути, связывать их с возможными причинами возникновения и оценивать влияние неровностей на безопасность движения и плавность хода поездов [7].

Так, для восстановления равноупругости подшпального основания, уменьшения неравномерности отступлений по уровню и в плане, а также устранения просадок применяется плано-предупредительная выправка пути (ППВ). Согласно инструкции [8] основным критерием назначения ППВ является количество отступлений 2-й степени вертикальных неровностей ГРК в среднем за последние три весенних месяца (табл. 2).

Данный параметр связан с тем, что в период зимних работ выправка пути в плане должна осуществляться только с применением регулировочных прокладок, которые ликвидируются в весенний период перед плановыми работами по

выправке пути с использованием машин или электрошпалоподбоек [8, 9].

Однако, как показано в ряде исследований [3, 10, 11], такой подход обладает существенными недостатками:

- реагирует на уже накопившиеся отклонения (реактивный характер);
- не учитывает пространственную структуру неровностей, что не позволяет выявить участки, где деградация переходит в ускоренную фазу;
- использует усредненные сезонные критерии, не отражающие реальную динамику расстройств.

Так, например, проведенный автором анализ состояния n км Транссибирской магистрали за 2021–2025 гг. показал, что лишь 25,6 % отступлений 2-й степени приходится на весенний период, тогда как основная доля (34,5 %) фиксируется летом. Это ставит под сомнение обоснованность выбора весеннего периода как единственного основания для назначения ППВ и подтверждает необходимость поиска дополнительных диагностических признаков, не зависящих от сезона (рис. 1).

Таблица 1

Классификация диапазонов длин волн согласно стандарту EN 13848 [12]

Категория	Диапазон длин волн, м	Примечание
D0	$1 < \lambda \leq 5$ (опционально*)	Создают высокие динамические нагрузки
D1	$3 < \lambda \leq 25$	Влияют на безопасность движения
D2	$25 < \lambda \leq 70$	Влияют на комфорт пассажиров
D3	$70 < \lambda \leq 150^{**}$	

* Используется дополнительно для определения неисправностей, вызывающих повышенные динамические воздействия на подвижной состав.

** Для горизонтальных (профильных) неровностей длина волны составляет 200 м.

Таблица 2

Критерии назначения ППВ для особо грузонапряженной линии

Критерий	Значение критерия по классам пути				
	1	2	3	4	5
Основной критерий					
О*	20	20	–	–	–
Дополнительные критерии					
Количество негодных шпал, % более	10	10	15	20	По усмотрению начальника дистанции пути (инфраструктуры)
Количество негодных узлов креплений, % более	10	10	15	20	
Или загрязненность балласта, %	Не более 10				
При снижении показателя СССП на км/ч	5	5	7	7	–
Критерий УРРАН					
Индекс предотказов	Более 0,18	Более 0,18	Более 0,3	Более 0,4	По усмотрению начальника дистанции пути (инфраструктуры)

* Количество отступлений 2-й степени шт./км в расчете на месяц в среднем за три последних весенних месяца без учета отступлений по ширине колеи для линий.

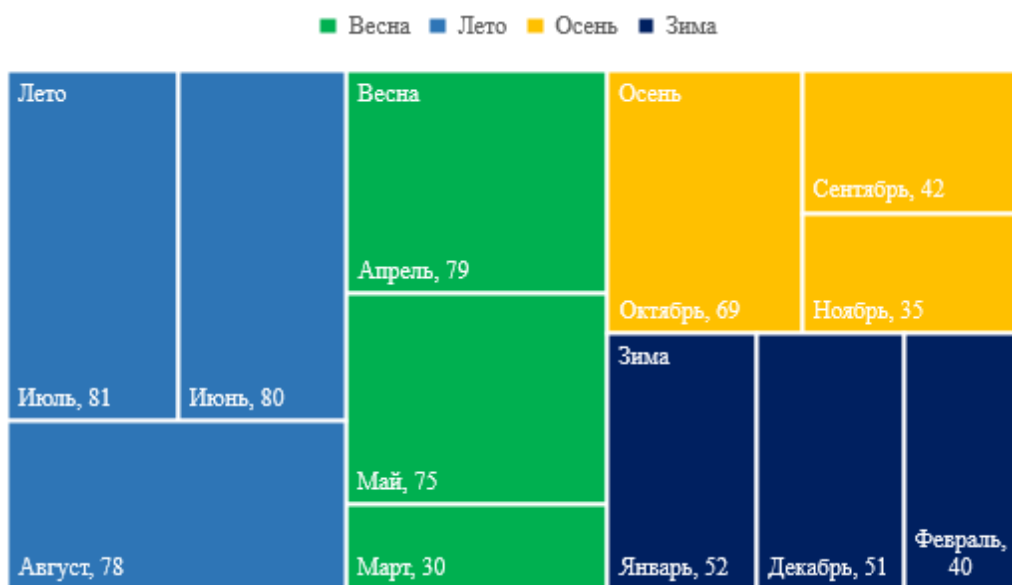


Рис. 1. Доля отступлений 2-й степени на n км по сезонам года

Особую остроту проблема повышения эффективности планирования путевых работ приобретает в условиях сокращения инвестиционных программ ОАО «РЖД». Согласно утвержденным бюджетам объем инвестиций в 2024 г. составил 1 275,4 млрд р., в 2025 г. – 890,9 млрд р., а на 2026 г. запланировано лишь 713,6 млрд р. [11, 13, 14]. В такой ситуации критически важно направлять ограниченные средства на те участки, где ремонт (в том числе ППВ) даст максимальный и долговременный эффект.

Однако, как было показано выше, действующий критерий назначения ППВ (количество отступлений 2-й степени за три весенних месяца) не учитывает пространственную структуру неровностей и не позволяет отделить локальные балластные дефекты (эффективно устраняемые выправкой) от системных деформаций земляного полотна, требующих более серьезных видов ремонта. При этом европейская практика демонстрирует эффективность спектрального анализа для классификации неровностей по диапазонам длин волн, что открывает возможность для дифференцированной оценки состояния пути.

Таким образом, назрела необходимость разработки дополнительных объективных критериев, которые, с опорой на спектральный состав вертикальных неровностей, позволили бы на этапе диагностики выделять участки, где ППВ будет действительно эффективна, и тем самым

способствовать рациональному распределению ограниченных ресурсов.

Целью данного исследования является обоснование необходимости использования спектральных показателей вертикальных неровностей (энергии в диапазонах D0–D3 согласно EN 13848) в качестве дополнительных диагностических признаков при назначении планово-предупредительной выправки пути на особо грузонапряженных линиях.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

1. Предложены спектральные показатели, характеризующие вклад коротких волн (устраняемых ППВ), а также индикаторы системных деформаций.
2. На модельных данных, имитирующих балластные дефекты и системные деформации, продемонстрирована работоспособность предложенных показателей.
3. Показаны преимущества предлагаемого подхода перед существующим в условиях дефицита финансирования.

Материалы и методы исследования

Для верификации предложенных спектральных показателей, призванных дополнить действующие критерии назначения ППВ, были использованы модельные (синтетические) данные. Такой подход позволяет на начальном этапе исследований обеспечить контролируемые условия, при которых заранее известен истинный спектральный состав

неровностей, что необходимо для проверки работоспособности методики.

Генерация данных выполнена в среде Python с использованием библиотек NumPy и Pandas. Параметры генерации соответствуют реальным условиям эксплуатации особо грузонапряженных линий:

- длина участка – 1 000 м;
- шаг дискретизации – 1 м;
- амплитуда неровностей – 40 мм;
- уровень шума – 5 % от среднеквадратичного отклонения сигнала.

Созданы два характерных сценария, отражающих различную физическую природу дефектов пути:

- сценарий А («балластные дефекты») – преобладание коротких волн в диапазонах D0 (1–3 м) и D1 (3–25 м);
- сценарий Б («системные деформации») – преобладание длинных волн в диапазонах D2 (25–70 м) и D3 (70–150 м).

Заданные доли энергии в каждом диапазоне (табл. 3) соответствуют классификации EN 13848 и обеспечивают принципиальное различие спектрального состава двух сценариев. Формирование профилей осуществлялось суперпозицией синусоид с длинами волн, равномерно распределенными внутри диапазонов, и случайными фазами.

Следует отметить, что при генерации синтетических профилей точное совпадение полученных долей энергии с целевыми значениями не гарантируется и не требуется в рамках данного исследования. Это обусловлено стохастической природой генерации: использование конечного набора гармоник со случайными фазами приводит к интерференционным эффектам, вследствие которых распределение энергии по диапазонам может отклоняться от теоретического. Кроме того, добавление шума и процедура спектрального оценивания (метод Уэлча с оконным усреднением) вносят дополнительные погрешности в оценку спектральной плотности мощности.

Однако для проверки работоспособности предложенных показателей принципиальным

является не точное соответствие долей, а сохранение качественной картины: в сценарии А действительно преобладают короткие волны (D0–D1), а в сценарии Б – длинные (D2–D3).

Измерения хордальными путеизмерительными вагонами (например, КВЛ-П) искажают истинный продольный профиль: длинные волны подавляются, короткие могут усиливаться. Для получения натуральных неровностей, пригодных для спектрального анализа, применяется процедура восстановления с использованием быстрого преобразования Фурье и обратной передаточной функции измерительной системы [7, 15, 16].

Алгоритм включает следующие этапы:

1. Вычисление дискретного преобразования Фурье от исходного сигнала $S(x)$.
2. Умножение спектра на обратную передаточную функцию $H^{-1}(\omega)$, где $H(\omega)$ – передаточная функция хордальной системы. Для вагона КВЛ-П параметры хорды при измерении вертикальных неровностей составляют: длина хорды – 17 м, положение измерительной точки – 2,7 м от одного из концов.
3. Обратное преобразование Фурье скорректированного спектра, дающее восстановленный профиль $y(x)$.

Для подавления спектральной утечки применялось окно Хэмминга. Реализация метода выполнена в авторском программном комплексе.

На основе восстановленного профиля $y(x)$ для каждого сценария рассчитывалась спектральная плотность мощности (СПМ) методом Уэлча с параметрами: длина сегмента – 1 024 точки, перекрытие – 50 %, окно – Хэмминга. СПМ представлена в размерности $\text{мм}^2 \cdot \text{м}$, что после интегрирования по длинам волн дает энергию в мм^2 .

Для расчета предложены следующие показатели.

Интегральная энергия в стандартных диапазонах (согласно EN 13848):

$$E_k = \int_{\lambda_{\min k}}^{\lambda_{\max k}} S(\lambda) d\lambda, k = D0, D1, D2, D3, (1)$$

где $S(\lambda)d\lambda$ – спектральная плотность мощности; λ – длина волны.

Таблица 3

Распределение энергии по диапазонам длин волн в модельных сценариях

Сценарий	D0	D1	D2	D3
А	0,30	0,50	0,15	0,05
Б	0,05	0,30	0,40	0,25

Энергия коротких волн – показатель, непосредственно характеризующий вклад неровностей, которые могут быть устранены ППВ (диапазоны D0 и D1):

$$E_{б.п} = E_{D0} + E_{D1}. \quad (2)$$

Индекс системной деградации – показатель, предназначенный для идентификации участков с преобладанием длинных волн (деформации земляного полотна). Знаменатель выбран как сумма энергий средних и длинных волн, чтобы индекс был чувствителен именно к росту длинноволновой составляющей относительно фонового уровня средних волн; диапазон D0 исключен, так как его вклад может быть велик при локальных дефектах и искажать оценку системных деформаций:

$$I_{сис} = \frac{E_{D2} + E_{D3}}{E_{D1} + E_{D2} + E_{D3}}. \quad (3)$$

Доминирующая длина волны – характерный масштаб неровностей, соответствующий максимуму СПМ:

$$\lambda_{дом} = \arg \max_y S(y). \quad (4)$$

Для демонстрации преимуществ предлагаемого подхода выполнено сравнение решений о назначении ППВ, принимаемых на основе действующих нормативных критериев (см. табл. 2) и на основе предложенных спектральных показателей. Принято допущение, что оба модельных участка имеют одинаковое количество отступлений 2-й степени, например 25 шт./км, что соответствует пороговому значению для грузовых путей 1-го, 2-го класса [9].

Критерием эффективности выправки в рамках исследования служит соответствие спектрального состава участка физической природе дефектов, устраняемых выправкой балласта (высокая доля энергии в диапазонах D0–D1). Участки с низким значением $E_{б.п}$ и доминирующей длиной волны более 25 м рассматриваются как требующие дополнительной диагностики (георадар, геодезическая съемка) и, возможно, направления на более высокие уровни ремонта.

Результаты исследования

Для двух сгенерированных профилей (сценарии А и Б) выполнены: восстановление натурального профиля, расчет спектральной плотности мощности и вычисление интегральных показателей по формулам (1)–(4). На рис. 2 и 3 представлены восстановленные профили и соответ-

ствующие им спектральные плотности мощности. Численные значения энергий в диапазонах D0–D3, а также производные показатели $I_{зем.пол.}$, $\lambda_{дом}$, $E_{б.п}$ сведены в табл. 4. Все энергетические величины приведены в мм², что соответствует квадрату амплитуды неровностей.

В сценарии А, моделирующем балластные дефекты, основная энергия сосредоточена в коротковолновой области: $E_{б.п} = 246,21$ мм², что составляет около 77 % от суммарной энергии (321,1 мм²). Доминирующая длина волны $\lambda_{дом} = 2,78$ м находится в диапазоне D0 (1–3 м), что характерно для локальных просадок и неровностей, порождаемых балластным слоем. Индекс системной деградации $I_{сис} = 0,68$ оказался заметным из-за наличия энергии в диапазонах D2 и D3 (в сумме 74,9 мм²), что связано со случайными флуктуациями при генерации. Тем не менее доминирующая длина волны и высокая доля коротких волн (более 75 %) однозначно идентифицируют участок как балластный.

Для сценария Б, имитирующего системные деформации земляного полотна, картина противоположная: коротковолновая энергия $E_{б.п} = 82,08$ мм² составляет лишь около 20 % от общей энергии (417,8 мм²), доминирующая длина волны 125 м (диапазон D3), индекс системной деградации близок к единице. Это соответствует преобладанию длинноволновых составляющих, характерных для деформаций основания.

На рис. 2 приведены восстановленные профили для обоих сценариев. Видно, что профиль сценария А имеет более высокочастотный характер (частые перепады), тогда как профиль сценария Б отличается плавными длинноволновыми колебаниями.

На рис. 3 показаны спектральные плотности мощности в логарифмическом масштабе, отчетливо видно смещение максимума СПМ в сторону коротких волн для сценария А и в сторону длинных для сценария Б.

Таким образом, для принятия решения о назначении ППВ следует ориентироваться в первую очередь на энергию коротких волн $E_{б.п}$ и доминирующую длину волны $\lambda_{дом}$, а $I_{сис}$ использовать как вспомогательный индикатор, подтверждающий наличие или отсутствие системных деформаций.

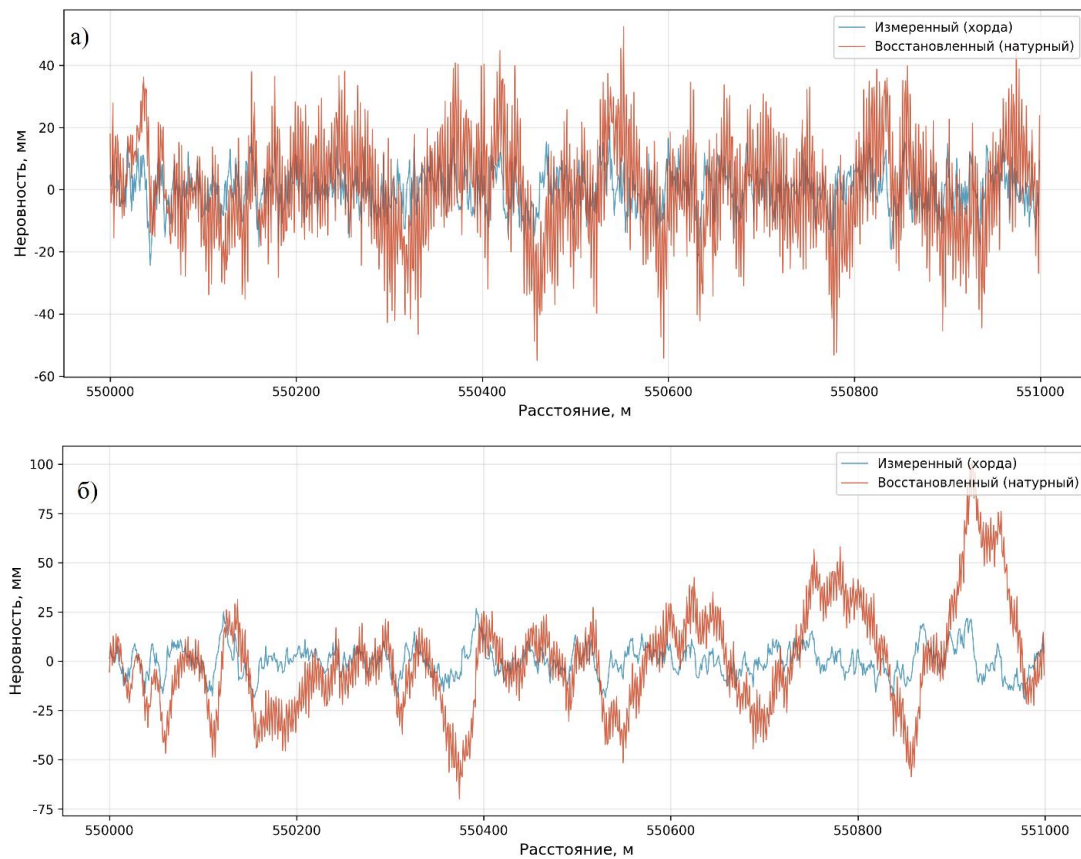


Рис. 2. Восстановленные профили вертикальных неровностей:
 а – сценарий А (балластные дефекты); б – сценарий Б (системные деформации)

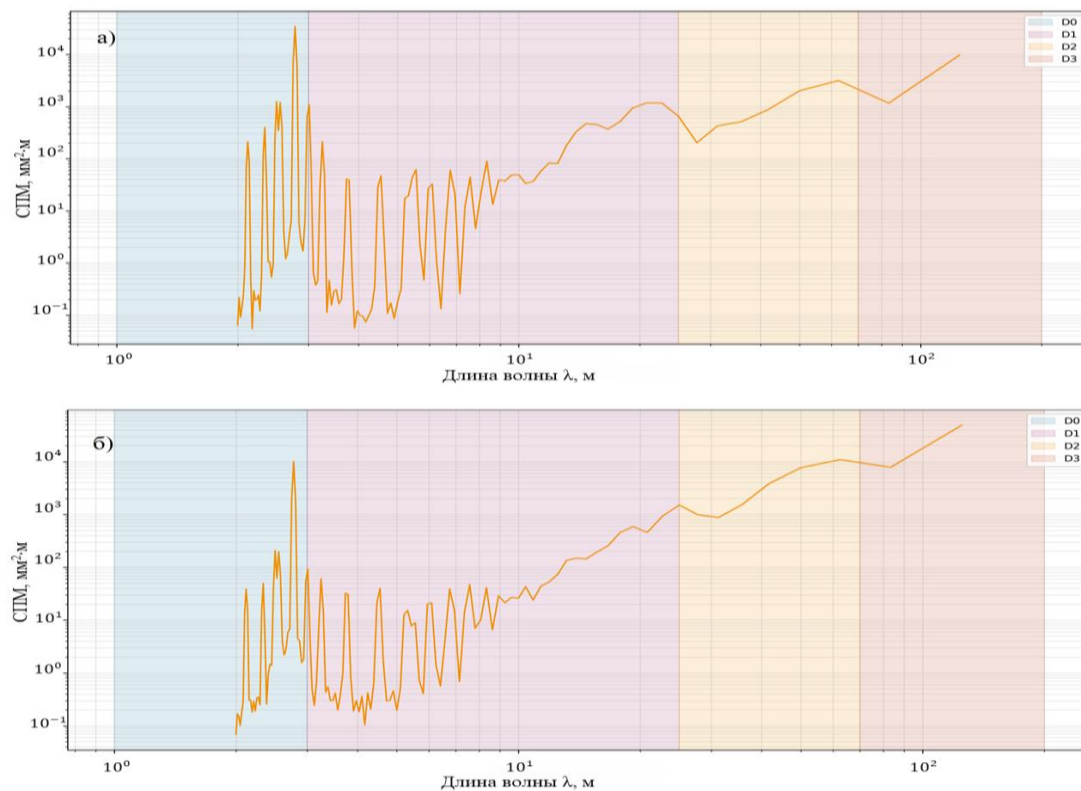


Рис. 3. Спектральная плотность мощности вертикальных неровностей:
 а – сценарий А (балластные дефекты); б – сценарий Б (системные деформации)

Таблица 4

Спектральные показатели модельных профилей

Сценарий	E_{D0} , мм ²	E_{D1} , мм ²	E_{D2} , мм ²	E_{D3} , мм ²	$E_{б.п.}$, мм ²	$I_{сис}$	$\lambda_{дом}$, м
А	210,97	35,24	31,33	43,56	246,21	0,68	2,78
Б	59,11	22,97	109,13	226,56	82,08	0,94	125

Таблица 5

Сравнение решений о назначении ППВ

Сценарий	Количество отступлений 2-й степени (условно)	Дополнительные критерии	Решение по действующим критериям	$E_{б.п.}$, мм ²	Предлагаемое решение
А	25	Условно одинаковые	Требуется ППВ	246,2	Назначить ППВ
Б	25			82,1	Осуществить дополнительную диагностику

Действующие критерии ППВ (см. табл. 2) опираются исключительно на амплитудные характеристики и количество отступлений, не учитывая спектральный состав неровностей. Для сопоставительного анализа допустим, что оба модельных участка имеют одинаковое количество отступлений 2-й степени, например 25 шт./км, что соответствует порогу для грузовых путей 1-го, 2-го класса. Тогда по действующим правилам оба участка были бы назначены в план ППВ. Однако, как показывают спектральные показатели, для сценария Б проведение ППВ будет неэффективно и недостаточно, так как причина дефектов не балласт, а земляное полотно. Результаты сравнения сведены в табл. 5.

Учет показателя $E_{б.п.}$ позволяет отбраковать участки с низкой энергией коротких волн. Если $E_{б.п.}$ ниже некоторого порога (например, менее 100 мм², что соответствует примерно 20–25 % от общей энергии), то вероятность системных деформаций высока и такой участок требует дополнительной диагностики (георадар, геодезическая съемка) и, возможно, направления на средний или капитальный ремонт. Предложенный порог может быть уточнен при обработке реальных данных.

Таким образом, использование спектральных показателей позволяет дифференцировать участки, где ППВ эффективна и необходима в первую очередь, тем самым оптимизировав затраты на ремонт и содержание пути. Это особенно актуально в условиях сокращения инвестиционных программ ОАО «РЖД».

Выводы

Выполненное исследование позволяет сделать следующие выводы. Действующие крите-

рии назначения ППВ, основанные на количестве отступлений 2-й степени за три весенних месяца, имеют реактивный характер и не учитывают пространственную структуру неровностей. Статистический анализ n км Транссибирской магистрали показал, что лишь 25,6 % отступлений фиксируется весной, тогда как основная доля (34,5 %) приходится на летний период, что ставит под сомнение обоснованность сезонной привязки.

Предложены спектральные показатели, позволяющие дифференцировать участки по физической природе дефектов: энергия коротких волн, индекс системной деградации и доминирующая длина волны. Расчетные формулы разработаны автором и ориентированы на классификацию диапазонов EN 13848.

На модельных данных, имитирующих балластные дефекты (сценарий А) и системные деформации земляного полотна (сценарий Б), продемонстрирована работоспособность предложенных показателей. Для сценария А энергия коротких волн составила 77 % от общей энергии при доминирующей длине волны 2,78 м; для сценария Б – не более 20 % при 125 м. Показатели надежно различают два типа деградации.

Использование спектральных критериев позволяет избежать неэффективного назначения ППВ на участках с системными деформациями. При условном равенстве числа отступлений традиционный подход назначает ППВ обоим участкам, тогда как спектральный анализ рекомендует для сценария Б дополнительную диагностику, способствуя рациональному распределению средств.

Полученные результаты обосновывают необходимость включения спектрального анализа вертикальных неровностей в систему дополнительных диагностических признаков при планировании ППВ. Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку метода прогнозирования момента перехода деградации пути в фазу ускоренного накопления отступлений («точки бифуркации»). Для этого необходимо:

– проанализировать динамику изменения предложенных спектральных показателей во времени на основе многолетних данных путеизмерительных вагонов;

– выявить критические значения скорости роста энергии коротких волн ($\Delta E_{6,п}/\Delta T$), после которых начинается системная деградация и ППВ становится неэффективной;

– разработать алгоритм раннего предупреждения, позволяющий за 1–2 года до наступления критического состояния рекомендовать упреждающую ППВ на участках, где она еще может предотвратить переход дефектов в земляное полотно;

– провести верификацию предложенного подхода на реальных данных с известной историей ремонтов и оценкой их эффективности.

Список источников

1. Аналитический материал сектора по организации безопасности движения Западно-Сибирской дирекции инфраструктуры от 30 января 2026 года. Новосибирск, 2026. 38 с.
2. Ланис А. Л., Усов Д. А., Тархов В. А. К вопросу обоснования увеличения срока эксплуатации рельсов в метрополитене // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2025. № 3 (75). С. 78–87. DOI 10.52170/1815-9265_2025_75_78.
3. О необходимости актуализации нормативов оценки геометрии рельсовой колеи / В. А. Гапанович [и др.] // Вестник Института проблем естественных монополий : Техника железных дорог. 2019. № 4. С. 22–27.
4. Влияние геометрии рельсовой колеи на характеристики движения – результаты исследований в рамках проекта ЕС DYNOTRAIN : материалы конференции SFT, Грац, 2013. Грац, 2013. 8 с.
5. Певзнер В. О., Шапетько К. В. Влияние параметров натурных неровностей на конструкцию железнодорожного пути // Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство. 2015. Т. 8, № 8. С. 188–192.
6. Певзнер В. О., Белоцветова О. Ю., Шапетько К. В. Совершенствование нормативных документов по оценке состояния пути при скоростном движении // Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство. 2014. Т. 7, № 7. С. 14–22.
7. Малинский С. В., Шарова В. О. Перспективные методы анализа периодических неровностей пути в задачах оценки безопасности движения // Путь и путевое хозяйство. 2024. № 4. С. 9–11.
8. Об утверждении правил назначения ремонтов железнодорожного пути : распоряжение ОАО «РЖД» от 17.12.2021 № 2888/р : (ред. 03.02.2023). Доступ из справ.-правовой системы «АСПИЖТ». Режим доступа: для авторизир. пользователей.
9. Об утверждении и введении в действие инструкции по текущему содержанию железнодорожного пути : распоряжение ОАО «РЖД» от 16.11.2016 № 2288р : (ред. 02.11.2022). Доступ из справ.-правовой системы «АСПИЖТ». Режим доступа: для авторизир. пользователей.
10. Певзнер В. О. Деформативность и стабильность пути // Путь и путевое хозяйство. 2005. № 2. С. 23–26.
11. Утвержден финансовый план и инвестиционная программа ОАО «РЖД» на 2024 год // ОАО «РЖД» : [сайт]. URL: <https://company.rzd.ru/ru/9351/page/2452802?id=289837> (дата обращения: 23.02.2026).
12. EN 13848-1:2019. Railway applications – Track – Track geometry quality. Part 1. Characterization of track geometry. Brussels : CEN, 2019. 32 p.
13. Совет директоров ОАО «РЖД» утвердил инвестиционную программу компании на 2025 год // ОАО «РЖД» : [сайт]. URL: <https://company.rzd.ru/ru/9351/page/2452802?id=310504> (дата обращения: 23.02.2026).
14. Совет директоров ОАО «РЖД» утвердил инвестиционную программу и финансовый план на 2026 год // ОАО «РЖД» : [сайт]. URL: <https://company.rzd.ru/ru/9351/page/2452802?id=320609> (дата обращения: 23.02.2026).
15. Pevzner V., Shapetko K., Slastenin A. Needed additions to the diagnostic system of high-speed lines // Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport. Cham : Springer International Publishing, 2019. P. 496–505.
16. Mauer L. Determination of track irregularities and stiffness parameters with inverse transfer functions of track recording vehicles // Interaction of Railway Vehicles with the Track and its Substructure. London : Routledge, 2018. P. 117–132.

References

1. Analytical material of the sector for the organization of traffic safety of the West Siberian Directorate of Infrastructure dated January 30, 2026. Novosibirsk; 2026. 15 p. (In Russ.).
2. Lanis A. L., Usov D. A., Tarkhov V. A. On the issue of justifying the extension of the service life of rails in the metro. *The Siberian Transport University Bulletin*. 2025;(75):78–87. (In Russ.). DOI 10.52170/1815-9265_2025_75_78.
3. Gapanovich V. A. [et al.]. On the need to update the standards for assessing rail track geometry. *Bulletin of the Institute of Natural Monopolies Problems: Railway Equipment*. 2019;(4):22–27. (In Russ.).
4. Influence of rail track geometry on running characteristics – results of research within the EC DYNOTRAIN project. *Proceedings of the SFT Conference, Graz, 2013*. Graz; 2013. 8 p. (In Russ.).
5. Pevzner V. O., Shapetko K. V. Influence of the parameters of actual irregularities on the railway track structure. *Introduction of Modern Structures and Advanced Technologies in the Track Facilities*. 2015;8(8):188–192. (In Russ.).
6. Pevzner V. O., Belotsvetova O. Yu., Shapetko K. V. Improvement of normative documents for assessing track condition during high-speed traffic. *Introduction of Modern Structures and Advanced Technologies in the Track Facilities*. 2014;7(7):14–22. (In Russ.).
7. Malinsky S. V., Sharova V. O. Promising methods for analyzing periodic track irregularities in problems of assessing traffic safety. *Railway Track and Facilities*. 2024;(4):9–11. (In Russ.).
8. On approval of the rules for scheduling railway track repairs: Order of JSC "Russian Railways" dated December 17, 2021 No. 2888/r (as amended on February 3, 2023). Available from the legal reference system "ASPIZhT" on the local network. (In Russ.).
9. On approval and enactment of the instructions for the current maintenance of railway track: Order of JSC "Russian Railways" dated November 16, 2016 No. 2288r (as amended on November 2, 2022). Available from the legal reference system "ASPIZhT" on the local network. (In Russ.).
10. Pevzner V. O. Deformability and stability of the track. *Track and Track Facilities*. 2005;(2):23–26. (In Russ.).
11. The financial plan and investment program of JSC "Russian Railways" for 2024 were approved. *JSC "Russian Railways": [site]*. 2024. (In Russ.). URL: <https://company.rzd.ru/ru/9351/page/2452802?id=289837>.
12. EN 13848-1:2019. Railway applications – Track – Track geometry quality – Part 1: Characterization of track geometry. Brussels: CEN; 2019. 32 p.
13. The Board of Directors of JSC "Russian Railways" approved the company's investment program for 2025. *JSC "Russian Railways": [site]*. 2025. (In Russ.). URL: <https://company.rzd.ru/ru/9351/page/2452802?id=310504>.
14. The Board of Directors of JSC "Russian Railways" approved the investment program and financial plan for 2026. *JSC "Russian Railways": [site]*. 2025. (In Russ.). URL: <https://company.rzd.ru/ru/9351/page/2452802?id=320609>.
15. Pevzner V., Shapetko K., Slastenin A. Needed additions to the diagnostic system of high-speed lines. *Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport*. Cham: Springer International Publishing; 2019. P. 496–505.
16. Mauer L. Determination of track irregularities and stiffness parameters with inverse transfer functions of track recording vehicles. *Interaction of Railway Vehicles with the Track and its Substructure*. London: Routledge; 2018. P. 117–132.

Информация об авторах

А. Л. Ланис – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Путь и путевое хозяйство» Сибирского государственного университета путей сообщения.

Н. С. Вихт – аспирант Сибирского государственного университета путей сообщения, инженер сектора по организации безопасности движения Западно-Сибирской дирекции инфраструктуры.

А. А. Севостьянов – кандидат технических наук, доцент кафедры «Путь и путевое хозяйство» Сибирского государственного университета путей сообщения.

Information about the authors

A. L. Lanis – Doctor of Engineering, Professor, Head of the Track and Track Facilities Department, Siberian Transport University.

N. S. Vikht – Postgraduate, Siberian Transport University; Engineer of the Traffic Safety Organization Sector, West-Siberian Directorate of Infrastructure.

A. A. Sevostyanov – Candidate of Engineering, Associate Professor of the Track and Track Facilities Department, Siberian Transport University.

Статья поступила в редакцию 11.03.2026; одобрена после рецензирования 31.03.2026; принята к публикации 01.04.2026.

The article was submitted 11.03.2026; approved after reviewing 31.03.2026; accepted for publication 01.04.2026.