

УДК 625.033.34

О физическом смысле коэффициентов, учитывающих величину приведенной массы железнодорожного пути, в расчете пути на прочность

А. Ю. Антонов, Л. С. Блажко

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

Для цитирования: Антонов А. Ю., Блажко Л. С. О физическом смысле коэффициентов, учитывающих величину приведенной массы железнодорожного пути, в расчете пути на прочность // Бюллетень результатов научных исследований. 2026. Вып. 1. С. 45–57. DOI: 10.20295/2223-9987-2026-1-45-57

Аннотация

Цель: определить необходимость корректировки постоянных значений коэффициентов α_0 и α_1 , заложенных в «Методику оценки воздействия подвижного состава на путь по условию обеспечения его надежности» (далее — Методика). **Методы:** анализ аналитических выражений Методики и результатов экспериментального исследования колебательного процесса грунтов земляного полотна, возникающего при вибродинамическом взаимодействии пути и подвижного состава. **Результаты:** получена функциональная зависимость приведенной массы пути m_n от коэффициента α_0 и приведенной массы колеса m_k . Выявлено, что отсутствует физический смысл аналитических выражений по определению значений коэффициента α_1 , поскольку при любых значениях α_1 справедливо одно и то же решение, подтверждающее отсутствие зависимости приведенной массы пути m_n от реального процесса взаимодействия пути и подвижного состава. **Практическая значимость:** с учетом достаточно значительного изменения эксплуатационных условий взаимодействия пути и подвижного состава за период с момента введения коэффициентов α_0 и α_1 в Методику расчета показателей напряженно-деформированного состояния пути (с 1972 года по настоящее время) полученные результаты позволяют говорить о необходимости пересмотра как числовых значений данных параметров, так и методов их определения.

Ключевые слова: железнодорожный путь, взаимодействие пути и подвижного состава, вертикальное воздействие колеса на рельс, расчет пути на прочность, приведенная масса пути, коэффициенты α_0 и α_1

Конечным действием расчета железнодорожного пути на прочность является сравнение расчетных величин напряжений в элементах верхнего строения пути с оценочными критериями. Результаты сопоставления расчетных и критериальных величин применяются при решении ряда задач путевого хозяйства: выбор эксплуатационных характеристик для обращения модернизированных и новых подвижных единиц, выбор рационально обоснованной скорости движения для сложных эксплуатационных условий, обоснование характеристик элементов верхнего строения пути и др. Расчет железнодорожного пути на прочность позволяет получить численные значения показателей напряженно-деформированного состояния пути: вертикального прогиба рельса; изгибающего момента рельса; максимально вероятной динамической силы, действующей на рельсы и шпалы, а также напряжений в элементах железнодорожного пути [1–3].

Результаты прочностного расчета используются как при проектировании новых железнодорожных линий, так и при обслуживании существующих, поскольку в процессе эксплуатации могут изменяться осевые нагрузки и скорости движения поездов. Практические выводы, получаемые по результатам расчета, служат основанием для составления плана усиления конструкции железнодорожного пути; определения продолжительности межремонтных схем и видов ремонтов, проводимых между капитальными ремонтами железнодорожного пути; анализа причин нарушений устойчивости рельсошпальной решетки и целостности подшпального основания, в том числе приведших к сходу подвижного состава [4, 5].

При определении показателей напряженно-деформированного состояния пути преобладающее влияние на итоговый результат расчета оказывает величина максимально вероятной динамической силы воздействия колеса на рельс, определяемая по формуле:

$$P_{\max}^{\text{дин}} = P_{\text{ср}} + \lambda_{\Phi} \cdot S, \quad (1)$$

где $P_{\text{ср}}$ — среднее значение вертикальной силы воздействия колеса подвижного состава на рельс (кг);

λ_{Φ} — вероятностный показатель, оценивающий риск возникновения максимальной динамической силы;

S — среднеквадратическое отклонение дополнительных динамических вертикальных сил инерционного характера, возникающих при взаимодействии пути и подвижного состава, при наличии длинных неровностей на пути, а также изолированных и непрерывных неровностей на поверхности катания колеса (кг).

Формулы по определению дополнительных динамических сил инерционного характера содержат ряд переменных и постоянных величин, характеризующих изменения условий эксплуатации: скорость движения V (км/ч); модуль упругости подрельсового основания U (кг/см²); коэффициент относительной жесткости основания k (см⁻¹); коэффициенты, учитывающие тип рельса β , род балласта γ , тип шпалы ϵ , а также величину приведенной массы железнодорожного пути α_0 и α_1 .

Коэффициент α_0 зависит от величин приведенной массы колеса m_k (кг·с²/см) и приведенной к контакту колеса и рельса массы пути $m_{\text{п}}$ (кг·с²/см):

$$\alpha_0 = \frac{m_k}{m_k + m_{\text{п}}}. \quad (2)$$

Для расчета напряжений в элементах конструкции пути в Методику заложены численные значения коэффициента α_0 , которые рекомендуется принимать равными 0,433 для пути на деревянных шпалах и 0,403 для пути на железобетонных шпалах.

Коэффициент α_1 рекомендуется принимать равным 1,0 для пути на деревянных шпалах, а для пути на железобетонных шпалах определять как отношение коэффициента $\alpha_0^{\text{жб.ш.}}$ к значению коэффициента $\alpha_0^{\text{д.ш.}}$:

$$\alpha_1 = \frac{\alpha_0^{\text{жб.ш.}}}{\alpha_0^{\text{д.ш.}}} = \frac{\frac{m_k}{m_k + m_{\text{п}}^i}}{\frac{m_k}{m_k + m_{\text{п}}^{\text{д.ш.}}}} = \frac{m_k + m_{\text{п}}^{\text{д.ш.}}}{m_k + m_{\text{п}}^i} = 0,931. \quad (3)$$

Обоснование о введении в инженерный расчет величин всех коэффициентов, учитывающих приведенную массу железнодорожного пути, было выполнено в 1972 году. Согласно исследованию М. Ф. Вериги и С. С. Крепкогорского [6], величина приведенной массы колеса m_k ($\text{кг} \cdot \text{с}^2/\text{см}$) определяется как отношение массы колеса q (кг) к ускорению свободного падения $g = 9,81$ ($\text{см}/\text{с}^2$):

$$m_k = \frac{q}{g}. \quad (4)$$

Приведенная масса пути $m_{\text{п}}$, в свою очередь, определялась как сумма масс рельсошпальной решетки $m_{\text{ршр}}^0$, балластного слоя $m_{\text{б}}^0$ и слоя того объема грунта земляного полотна $m_{\text{гр}}^0$, который совершал вертикальные колебания под действием поездной нагрузки:

$$m_{\text{п}} = m_{\text{ршр}}^0 + m_{\text{б}}^0 + m_{\text{гр}}^0. \quad (5)$$

Для определения указанных величин были использованы результаты экспериментального исследования Е. М. Бромберга, выполненного в 1958 году при движении четырехосного вагона со скоростью 100 км/ч на конструкции пути с рельсами Р50, деревянными шпалами и щебеночным балластным слоем толщиной 45 см.

Очевидно, что со времени проведения эксперимента в 1958 году и теоретического исследования в 1972 году произошли значительные изменения условий эксплуатации. К основным изменениям можно отнести повышение средней массы рельса на сети железных дорог с 49,6 до 64,7 кг/м, повышение доли бесстыкового пути на железобетонных шпалах с 5 до 83 % от развернутой длины железных дорог, применение совершенно новых видов креплений, изменение характера силового воздействия (осевой нагрузки с 23–25 до 25–27 тс, массы поездов с 2337 до 4105 т и средней грузонапряженности с 24 до 39 млн т брутто и др.) [7–11].

В настоящее время вибродинамическое взаимодействие пути и подвижного состава имеет иной характер, чем 50–60 лет назад, следовательно, и показатели, учитывающие это взаимодействие (коэффициенты α_0 и α_1), должны принимать другие значения.

Рассмотрим подробно методику расчета данных коэффициентов. Отношение (2) может быть записано так:

$$m_{\text{п}} = \frac{m_{\text{к}} \cdot (1 - \alpha_0)}{\alpha_0}. \quad (6)$$

Для данного выражения справедлива следующая функциональная зависимость (рис. 1).

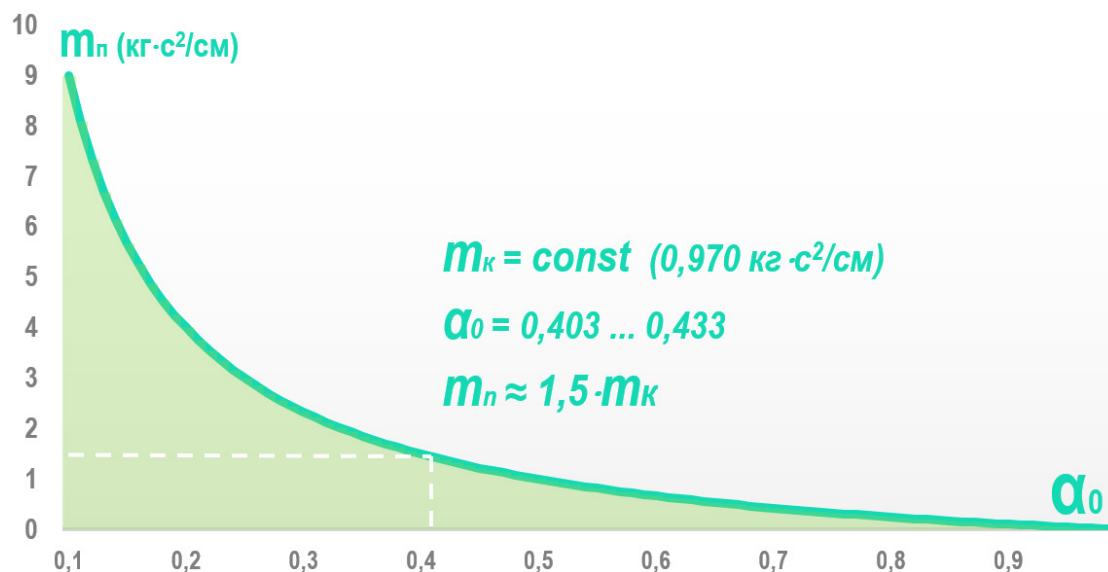


Рис. 1. Функциональная зависимость приведенной массы пути $m_{\text{п}}$ от коэффициента α_0 и приведенной массы колеса $m_{\text{к}}$

Из рис. 1 видно, что при α_0 от 0,403 до 0,433 приведенная масса пути $m_{\text{п}}$ приблизительно равна 1,5 приведенной массы колеса.

Предположим, что по некоторому участку, на котором уложены железобетонные шпалы, будет двигаться пассажирский электропоезд ЭС2Г «Ласточка» с массой колеса $q = 1188$ кг. Тогда приведенная масса пути при $\alpha_0 = 0,433$ будет равна $m_{\text{п}} = 1,79$ кг·с²/см.

В случае если по этому участку будет двигаться грузовой электровоз 2ЭС6 «Синара» с массой колеса $q = 3519$ кг, приведенная масса пути составит $m_{\text{п}} = 5,29$ кг·с²/см.

Следовательно, величина параметра $m_{\text{п}}$ зависит только от приведенной массы колеса $m_{\text{к}}$ и не зависит от каких-либо других эксплуатационных условий. При любом значении α_0 увеличение/уменьшение значения параметра $m_{\text{к}}$ повлечет за собой увеличение/уменьшение значения $m_{\text{п}}$.

Это означает, что коэффициент α_0 не учитывает реальные значения масс элементов конструкции пути и подвижного состава, вовлекаемые в колебательный процесс вследствие взаимодействия пути и подвижного состава.

Рассмотрим результаты экспериментального исследования фактического вибрационного воздействия на грунты земляного полотна от инновационных вагонов с нагрузкой 27 т/ось, проведенного сотрудниками ФГБОУ ВО ПГУПС на участке Баранчинская — Лая Свердловской железной дороги [12].

Конструкция пути имеет следующую характеристику: звеньевой путь (25 м), деревянные шпалы, рельсы Р65, крепления ДО, эпюра 1840 шт./км, балласт асбестовый толщиной 40 см.

Земляное полотно представляет собой насыпь высотой 6 м, сложенную из щебня гранитных пород фракцией от 10 до 40 мм, суглинка коричневого цвета полутвердой консистенции с редким гравием плотностью 1,87 т/м³ и коричневатожелтой супесью плотностью 2,19 т/м³ с гравием до 25 %, галькой и остатками растительности.

На участке массового обращения грузовых поездов с осевой нагрузкой до 27,0 т и скоростью 30–70 км/ч были зафиксированы значения амплитуд на уровне основной площадки земляного полотна в интервале от 38 до 191 мкм (табл. 1).

ТАБЛИЦА 1. Максимальные результирующие амплитуды смещений на основной площадке земляного полотна

Период испытаний	Средние результирующие, максимально вероятные амплитуды смещений, мкм							
	Поезда с осевой нагрузкой 23,5 т/ось				Поезда с осевой нагрузкой 27,0 т/ось			
	Скорость движения, км/ч				Скорость движения, км/ч			
	30–40	40–50	50–60	60–70	30–40	40–50	50–60	60–70
I главный путь, вне стыка								
Ноябрь 2017 года	88			131	84			
Май 2018 года	84		115	147	90			
Июнь 2018 года	88		122	156	95			
II главный путь, зона стыка								
Ноябрь 2017 года	124	146	191		129			
Май 2018 года	93		121	135	103			
Июнь 2018 года	126		166	186	136			
III главный путь, вне стыка								
Ноябрь 2017 года	38	58	74	101	40			
Май 2018 года	63	75	88		57			
Июнь 2018 года	73	84	96		62			

В соответствии с полученными результатами для поперечного профиля участка проведения исследования по аналитическим выражениям И. В. Прокудина [13] были построены изолинии распространения амплитуд колебаний в теле земляного полотна при значениях на уровне основной площадки земляного полотна, равных

60, 100, 140 и 180 мкм (рис. 2 — при 100 мкм). Минимальные значения амплитуд (0,0001 мкм) были зафиксированы на расстоянии 28 м от оси II главного пути, по которому двигалась поездная нагрузка, и на глубину до 8 м от уровня основной площадки земляного полотна.

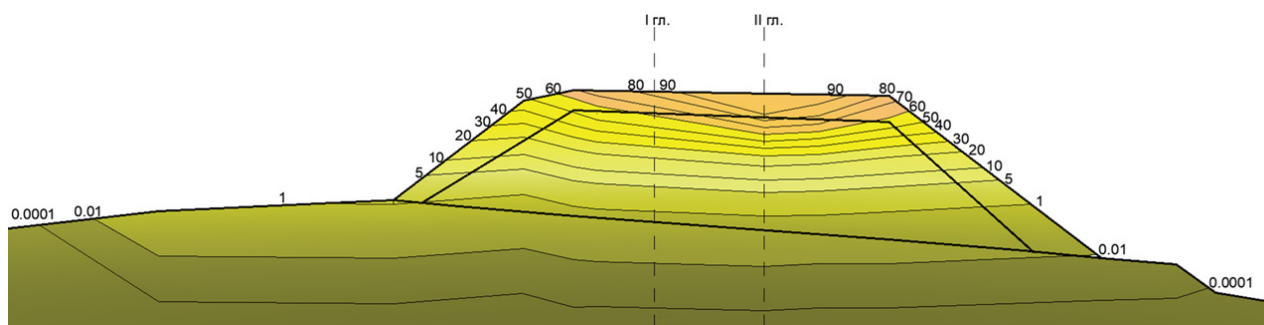


Рис. 2. Распределение изолиний результирующих амплитуд колебаний грунтов в теле земляного полотна при максимально вероятных результирующих амплитудах на уровне основной площадки земляного полотна 100 мкм

В соответствии с [14, 15] приведенная масса земляного полотна может быть определена как сумма приведенных масс слоев грунта земляного полотна, имеющих одинаковые значения вертикальных перемещений:

$$m_{\text{п}} = \frac{1,5}{g \cdot k \cdot z_0^2} \cdot \left(\sum_{i=-\infty}^{\infty} p_i \cdot z_i^2 \right), \quad (7)$$

где z_0^2 — вертикальное перемещение зоны контакта колеса и рельса (см);
 z_i^2 — вертикальное перемещение каждого элемента железнодорожного пути (см);
 g — ускорение свободного падения (см/с);
 k — коэффициент относительной жесткости подрельсового основания (см⁻¹);
 p — плотность грунта (кг/см).

Заменим величины, учитывающие вертикальные перемещения зоны контакта колеса и рельса, параметром R , тогда формула примет вид:

$$m_{\text{п}} = R \cdot \left(\sum_{i=-\infty}^{\infty} p_i \cdot z_i^2 \right). \quad (8)$$

По результатам расчета было получено (рис. 3), что при изменении амплитуды колебаний на уровне основной площадки земляного полотна приведенная масса земляного полотна изменяется в 3,7 раза.

Следовательно, коэффициенты α_0 и α_1 , введенные для учета приведенной массы пути, не могут быть строго детерминированными величинами, а должны представлять собой функциональные зависимости, учитывающие факторы, влияющие на ее формирование (табл. 2).

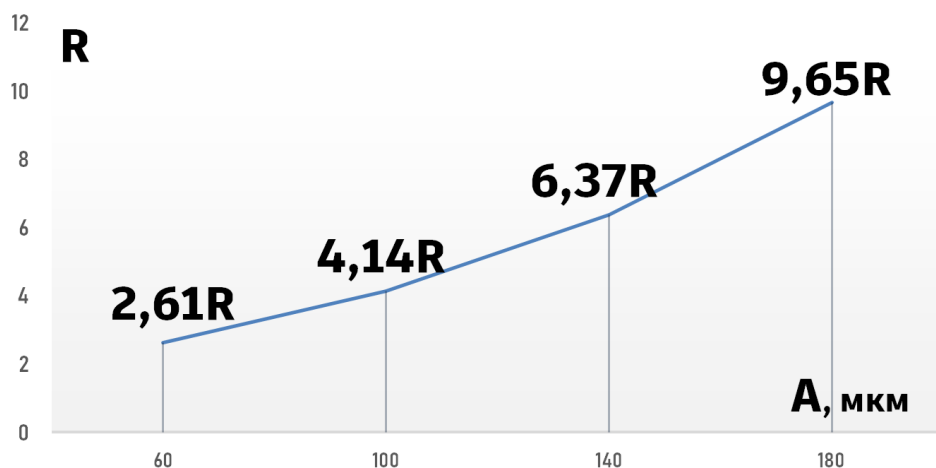


Рис. 3. Зависимость амплитуды колебаний на уровне основной площадки земляного полотна A (мкм) от величины R , учитывающей вертикальное перемещение точки (площадки) контакта колеса и рельса

ТАБЛИЦА 2. Объективные и субъективные факторы, подтверждающие вариативность приведенной массы железнодорожного пути

Объективные факторы	Субъективный фактор
Изменение очертания поперечного профиля земляного полотна и балластной призмы, как типового, так и фактического	Различным поперечным сечениям пути при одинаковом силовом воздействии должна соответствовать различная приведенная масса пути
Различие геометрических параметров элементов конструкции рельсошпальной решетки	
Изменение структуры и свойств материалов, слагающих балластную призму и земляное полотно	
Наличие в конструкции пути вновь введенных, дополнительных элементов: геоматериалов, вяжущих веществ, новых видов различных подкладок и прокладок (разнослойность)	
Изменяющиеся со временем показатели интенсивности грузовой работы (грузонапряженность и пропущенный тоннаж)	
Изменения состояния элементов конструкции верхнего строения пути, характеризующее наличие отступлений, деформаций, дефектов и засорения и загрязнения элементов конструкции пути	
Влияние качества ремонта и работ текущего содержания пути	
Изменение геометрических параметров ходовых частей (ползуны, навары, выбоины, неравномерность проката и др.)	Одному и тому же поперечному сечению пути при различном силовом воздействии должна соответствовать различная приведенная масса пути
Конструктивные особенности неподдресоренных частей экипажа	
Изменение режима движения поезда (ускорение, торможение, равномерное движение)	
Изменение характера силового воздействия (масса и длина поезда, осевая нагрузка)	
Расширение спектра реализуемых скоростей	
Изменение технических характеристик экипажа, увеличение силы тяги, а также переход на различные силы тяги (тепловозная, электрическая, электромагнитная)	
Изменения системы технического обследования парка вагонов	
Влияние погодных условий (температура, осадки и др.)	

Поскольку, согласно Методике, коэффициент α_1 для пути на железобетонных шпалах определяется как отношение коэффициента $\alpha_0^{\text{жб.ш.}}$ к значению $\alpha_0^{\text{д.ш.}}$, то для практических расчетов целесообразно вводить переменное значение коэффициента α_0 . Тогда коэффициент α_1 будет определяться как отношение коэффициента α_0^i для расчетной конструкции пути к значению $\alpha_0^{\text{д.ш.}}$, принятому для пути на деревянных шпалах:

$$\alpha_1 = \frac{\alpha_0^{\text{жб.ш.}}}{\alpha_0^{\text{д.ш.}}} = \frac{\frac{m_k}{m_k + m_{\text{п}}^i}}{\frac{m_k}{m_k + m_{\text{п}}^{\text{д.ш.}}}} = \frac{m_k + m_{\text{п}}^{\text{д.ш.}}}{m_k + m_{\text{п}}^i}. \quad (9)$$

Следует подчеркнуть, что для данного выражения при любых значениях коэффициента $\alpha_1^{\text{жб.ш.}}$ справедливо следующее решение:

$$m_{\text{п}}^{\text{жб.ш.}} = m_{\text{п}}^{\text{д.ш.}} = -m_k. \quad (10)$$

После ряда математических преобразований выражение (9) можно записать в следующем виде:

$$m_k \cdot (\alpha_1^{\text{жб.ш.}} - 1) = m_{\text{п}}^{\text{д.ш.}} - \alpha_1^{\text{жб.ш.}} \cdot m_{\text{п}}^{\text{жб.ш.}}. \quad (11)$$

Подставим в данное выражение значения коэффициента $\alpha_1^{\text{жб.ш.}}$ от 0 до n и найдем решение каждого неравенства (табл. 3).

ТАБЛИЦА 3. Зависимость коэффициента $\alpha_1^{\text{жб.ш.}}$ от вариативности приведенных масс железнодорожного пути на железобетонных шпалах $m_{\text{п}}^{\text{жб.ш.}}$, железнодорожного пути на деревянных шпалах $m_{\text{п}}^{\text{д.ш.}}$ и массы неподрессоренных частей тележки подвижного состава m_k

$\alpha_1^{\text{жб.ш.}}$	Уравнение	Решение
	$m_k \cdot (\alpha_1^{\text{жб.ш.}} - 1) = m_{\text{п}}^{\text{д.ш.}} - \alpha_1^{\text{жб.ш.}} \cdot m_{\text{п}}^{\text{жб.ш.}}$	
$\alpha_1^{\text{жб.ш.}} = 0$	$m_k \cdot (0 - 1) = m_{\text{п}}^{\text{д.ш.}} - 0 \cdot m_{\text{п}}^{\text{жб.ш.}}$ $-m_k = m_{\text{п}}^{\text{д.ш.}}$ $m_{\text{п}}^{\text{д.ш.}} = m_{\text{п}}^{\text{д.ш.}}$	$-m_k = m_{\text{п}}^{\text{д.ш.}}$
$\alpha_1^{\text{жб.ш.}} = 0,5$	$m_k \cdot (0,5 - 1) = m_{\text{п}}^{\text{д.ш.}} - 0,5 \cdot m_{\text{п}}^{\text{жб.ш.}}$ $-0,5 \cdot m_k = m_{\text{п}}^{\text{д.ш.}} - 0,5 \cdot m_{\text{п}}^{\text{жб.ш.}}$ $0,5 \cdot m_{\text{п}}^{\text{жб.ш.}} = m_{\text{п}}^{\text{д.ш.}} - 0,5 \cdot m_{\text{п}}^{\text{жб.ш.}}$	$-m_k = m_{\text{п}}^{\text{д.ш.}} = m_{\text{п}}^{\text{жб.ш.}}$

Окончание ТАБЛИЦЫ 3

$\alpha_1^{\text{жб.ш.}}$	Уравнение	Решение
$\alpha_1^{\text{жб.ш.}} = 1$	$m_k \cdot (1-1) = m_{\text{п}}^{\text{д.ш.}} - 1 \cdot m_{\text{п}}^{\text{жб.ш.}}$ $0 = m_{\text{п}}^{\text{д.ш.}} - 1 \cdot m_{\text{п}}^{\text{жб.ш.}}$ $0 = m_{\text{п}}^{\text{жб.ш.}} - m_{\text{п}}^{\text{жб.ш.}}$	$m_{\text{п}}^{\text{д.ш.}} = m_{\text{п}}^{\text{жб.ш.}}$
$\alpha_1^{\text{жб.ш.}} = 2$	$m_k \cdot (2-1) = m_{\text{п}}^{\text{д.ш.}} - 2 \cdot m_{\text{п}}^{\text{жб.ш.}}$ $1 \cdot m_k = m_{\text{п}}^{\text{д.ш.}} - 2 \cdot m_{\text{п}}^{\text{жб.ш.}}$ $-m_{\text{п}}^{\text{жб.ш.}} = m_{\text{п}}^{\text{жб.ш.}} - 2 \cdot m_{\text{п}}^{\text{жб.ш.}}$	$-m_k = m_{\text{п}}^{\text{д.ш.}} = m_{\text{п}}^{\text{жб.ш.}}$
$\alpha_1^{\text{жб.ш.}} = n$	$m_k \cdot (n-1) = m_{\text{п}}^{\text{д.ш.}} - n \cdot m_{\text{п}}^{\text{жб.ш.}}$ $n \cdot m_k - m_k = m_{\text{п}}^{\text{д.ш.}} - n \cdot m_{\text{п}}^{\text{жб.ш.}}$ $-n \cdot m_{\text{п}}^{\text{жб.ш.}} + m_{\text{п}}^{\text{жб.ш.}} = m_{\text{п}}^{\text{жб.ш.}} - n \cdot m_{\text{п}}^{\text{жб.ш.}}$	$-m_k = m_{\text{п}}^{\text{д.ш.}} = m_{\text{п}}^{\text{жб.ш.}}$

Рассмотрим случай при значении $m_k = G$ кг·с²/см, значительно превышающем действительные значения приведенной массы колеса подвижного состава, и $\alpha_1^{\text{жб.ш.}} = 0,931$ (в соответствии с Методикой [1]):

$$\alpha_1^{\text{жб.ш.}} \cdot m_k - m_k = m_{\text{п}}^{\text{д.ш.}} - \alpha_1^{\text{жб.ш.}} \cdot m_{\text{п}}^{\text{жб.ш.}}, \quad (12)$$

$$0,931 \cdot G - G = m_{\text{п}}^{\text{д.ш.}} - 0,931 \cdot m_{\text{п}}^{\text{жб.ш.}}.$$

Решение равенства возможно только при $m_{\text{п}}^{\text{д.ш.}} = m_{\text{п}}^{\text{жб.ш.}} = -G = -m_k$.

Из вышеизложенного следует, что выражение (9) не имеет физического смысла. Величина коэффициента α_1 , учитываемая в Методике, не имеет зависимости от колеблющихся масс пути и подвижного состава.

Заключение

Проведенный анализ аналитических выражений, регламентированных действующей Методикой оценки воздействия подвижного состава на путь, позволяет сделать ряд выводов относительно физической обоснованности коэффициентов α_0 и α_1 , введенных для учета приведенной массы пути.

Анализ функциональной зависимости, связывающей коэффициент α_0 с приведенной массой колеса m_k и приведенной массой пути $m_{\text{п}}$, показывает, что при фиксированном значении коэффициента α_0 , заложенном в Методику, величина $m_{\text{п}}$ оказывается жестко детерминированной исключительно значением m_k . Это позволяет

предположить, что в существующей постановке коэффициент α_0 не в полной мере отражает влияние реальных физико-механических свойств и масс элементов конструкции пути (рельсошпальной решетки, балласта и грунтов земляного полотна), вовлекаемых в колебательный процесс. Верификация данного положения на примере современных верифицированных значений масс колеса различного подвижного состава демонстрирует значительный разброс вычисляемой величины m_n , что ставит под сомнение возможность использования унифицированных постоянных значений α_0 .

Исследование выражения для определения коэффициента α_1 выявило, что при подстановке любых допустимых значений исходных параметров решение математического выражения (9) неизменно приводит к равенству приведенных масс пути на деревянных и железобетонных шпалах. Данный математический инвариант свидетельствует о том, что заложенная в Методику функциональная связь не позволяет уловить разницу в динамическом взаимодействии системы «путь — подвижной состав» при смене типа шпал. Следовательно, физический смысл коэффициента α_1 как параметра, призванного учитывать изменение колеблющихся масс пути в зависимости от его конструкции, требует дополнительного уточнения и обоснования, поскольку в текущем виде решение не зависит от варьируемых условий.

Таким образом, полученные результаты дают основание полагать, что применяемые в настоящее время постоянные значения коэффициентов α_0 и α_1 , а также методика их расчета не в полной мере отражают современный уровень вибродинамического воздействия и реальную величину приведенной массы пути, участвующей во взаимодействии с подвижным составом. Выявленные особенности указывают на необходимость проведения дополнительных теоретических и экспериментальных исследований с целью корректировки данных коэффициентов или разработки более совершенных методов их определения, учитывающих вариативность эксплуатационных факторов и конструктивных особенностей современной железнодорожной инфраструктуры.

Список источников

1. Методика оценки воздействия подвижного состава на путь по условиям обеспечения его надежности, утв. МПС РФ от 16.06.2000 № ЦПТ-52/14. М., 2000. 40 с.
2. Методика оценки воздействия подвижного состава на путь по условиям обеспечения его надежности, утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 22.12.2017 № 270бр.
3. Взаимодействие пути и подвижного состава / М. Ф. Вериго [и др.] // Труды ВНИИЖТ. М.: Трансжелдориздат, 1955. Вып. 97. 412 с.
4. Клинов С. И. Расчеты верхнего строения пути на прочность и устойчивость: учебное пособие для вузов железнодорожного транспорта. М.: МИИТ, 1984. 115 с.

5. Чернышев М. А. Практические методы расчета пути. М.: Транспорт, 1967. 236 с.
6. Вериго М. Ф. Динамические исследования пути и корректировка правил расчетов железнодорожного пути на прочность // Труды ВНИИЖТ. М.: Транспорт, 1972. Вып. 466. 192 с.
7. Транспорт и связь СССР: стат. сборник. М.: Статистика, 1972. 320 с.
8. Транспорт и связь СССР: стат. сборник. М.: Финансы и статистика, 1990. 137 с.
9. Транспорт в России: стат. сборник. М.: Росстат, 2022. 101 с.
10. Транспорт в России: стат. сборник. М.: Росстат, 2024. 100 с.
11. Железнодорожный путь: учебник. Изд. 2-е, испр. и доп. / под ред. Е. С. Ашпиз. М.: ФГБОУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2021. 576 с.
12. Отчет о научно-исследовательской работе «Оценка влияния составов, сформированных из вагонов с осевой нагрузкой 27 тс, на состояние высоких насыпей на участке Качканар — Смычка Свердловской железной дороги». СПб.: ПГУПС, 2018. 157 с.
13. Прокудин И. В. Прочность и деформативность железнодорожного земляного полотна из глинистых грунтов, воспринимающих вибродинамическую нагрузку: дисс. ... д-ра техн. наук. Л., 1982. 456 с.
14. Шмидт К. М. Влияние массы пути на деформацию его при ударе колеса с подрессоренным грузом: сб. НИИ пути и путевого хозяйства. М.: Трансжелдориздат, 1941. С. 87–109.
15. Антонов А. Ю. Об определении приведенной массы пути. Путь XXI века: сб. трудов V Национальной научно-практической конференции с международным участием (Санкт-Петербург, 14–15 сентября 2023 года) / под ред. Л. С. Блажко. СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2024. С. 114–121.

Дата поступления: 20.01.2026

Решение о публикации: 28.02.2026

Контактная информация:

АНТОНОВ Антон Юрьевич — старший преподаватель кафедры «Железнодорожный путь»;
antonov@pgups.ru

БЛАЖКО Людмила Сергеевна — профессор кафедры «Железнодорожный путь»;
blazhko@pgups.ru

Physical interpretation of the railway track's equivalent mass coefficients in track strength calculations

A. Yu. Antonov, L. S. Blazhko

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9 Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russia

For citation: Antonov A. Yu., Blazhko L. S. Physical interpretation of the railway track's equivalent mass coefficients in track strength calculations // Bulletin of scientific research results, 2026, iss. 1, pp. 45–57. DOI: 10.20295/2223-9987-2026-1-45-57. (In Russian)

Abstract

Objective: to determine the necessity to adjust the constant values of α_0 and α_1 coefficients, specified in the “Methodology for Assessing the Impact of Rolling Stock on the Track Under Conditions of Ensuring Its Reliability” (hereinafter referred to as the Methodology). **Methods:** an analysis of the analytical expressions employed in the Methodology and in the results of an experimental study of the oscillatory process in the subgrade soils, arising from track-rolling stock interaction, was conducted. **Results:** a functional dependence of the equivalent track mass (m_{track}) on α_0 coefficient and the equivalent wheel mass m_{wheel} has been obtained. It has been established that the analytical expressions, utilized to determine α_1 coefficient, lack physical significance, since they produce the same solution for any α_1 value, confirming that m_{track} is not influenced by the specific interaction mechanism between the track and the rolling stock. **Practical significance:** in view of the substantial changes in operational conditions affecting track-rolling stock interaction, since α_0 and α_1 coefficients were introduced in the 1972 Methodology for calculating the stress-strain state of the track, the research findings indicate the necessity to revise both the numerical values of these parameters and the methodologies employed to determine them.

Keywords: railway track, track-rolling stock interaction, impact of wheel-rail vertical forces, track strength calculation, reduced track mass, α_0 and α_1 coefficients

References

1. Metodika otsenki vozdeystviya podvizhnogo sostava na put' po usloviyam obespecheniya ego nadezhnosti, utv. MPS RF ot 16.06.2000 No. TsPT-52/14. M., 2000. 40 s. (In Russian)
2. Metodika otsenki vozdeystviya podvizhnogo sostava na put' po usloviyam obespecheniya ego nadezhnosti, utv. rasporyazheniem OAO “RZhD” ot 22.12.2017 No. 2706r. (In Russian)
3. Vzaimodejstvie puti i podvizhnogo sostava / M.F. Verigo [i dr.] // Trudy VNIIZhT. M.: Transzheldorizdat, 1955. Vyp. 97. 412 s. (In Russian)
4. Klinov S. I. Raschety verkhnego stroeniya puti na prochnost' i ustojchivost': uchebnoe posobie dlya vuzov zheleznodorozhnogo transporta. M.: MIIT, 1984. 115 s. (In Russian)
5. Chernyshev M. A. Prakticheskie metody rascheta puti. M.: Transport, 1967 g. 236 s. (In Russian)
6. Verigo M. F. Dinamicheskie issledovaniya puti i korrektirovka pravil raschetov zheleznodorozhnogo puti na prochnost' // Trudy VNIIZhT. M.: Transport, 1972. Vyp. 466. 192 s. (In Russian)
7. Transport i svyaz' SSSR: stat. sbornik. M.: Statistika, 1972. 320 s. (In Russian)
8. Transport i svyaz' SSSR: stat. sbornik. M.: Finansy i statistika, 1990. 137 s. (In Russian)
9. Transport v Rossii: stat. sbornik. M.: Rosstat, 2022. 101 s. (In Russian)

10. Transport v Rossii: stat. sbornik. M.: Rosstat, 2024. 100 s. (In Russian)
11. Zheleznodorozhnyj put': uchebnik. Izd. 2-e, ispr. i dop. / pod red. E. S. Ashpiz. M.: FGBOU DPO "Uchebno-metodicheskij tsentr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte", 2021. 576 s. (In Russian)
12. Otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote "Otsenka vliyaniya sostavov, sformirovannykh iz vagonov s osevoj nagruzkoy 27 ts, na sostoyanie vysokikh nasypej na uchastke Kachkanar — Smychka Sverdlovskoj zheleznoj dorogi". SPb.: PGUPS, 2018. 157 s. (In Russian)
13. Prokudin I. V. Prochnost' i deformativnost' zheleznodorozhnogo zemlyanogo polotna iz glinistykh gruntov, vosprinimayushchikh vibrodinamicheskuyu nagruzku: diss. ... d-ra tekhn. nauk. L., 1982. 456 s. (In Russian)
14. Shmidt K. M. Vliyanie massy puti na deformatsiyu ego pri udare koleasa s podressorennym gruzom: sb. NII puti i putevogo khozyajstva. M.: Transzheldorizdat, 1941. S. 87–109. (In Russian)
15. Antonov A. Yu. Ob opredelenii privedennoj massy puti. Put' XXI veka: sb. trudov V Nacional'noj nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem (Sankt-Peterburg, 14–15 sentyabrya 2023 goda) / pod red. L. S. Blazhko. SPb.: FGBOU VO PGUPS, 2024. S. 114–121. (In Russian)

Received: 20.01.2026

Accepted: 28.02.2026

Author's information:

Anton Yu. ANTONOV — Senior Lecturer at the Department of "Railway Track"; antonov@pgups.ru

Lyudmila S. BLAZHKO — Professor at the Department of "Railway Track"; blazhko@pgups.ru