ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 72044— 2025

КОНСТРУКЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

Методика расчетов участков переменной жесткости

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2025

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Российский университет транспорта» [ФГАОУ ВО РУТ(МИИТ)]

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 465 «Строительство»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 6 мая 2025 г. № 381-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2025

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 1
4 Общие положения 2
5 Методика расчета участков переменной жесткости 2
Приложение А (справочное) Пример расчета участков переменной жесткости 6
Библиография 7

Введение

Настоящий стандарт разработан для обеспечения соблюдения требований [1].

Целью разработки настоящего стандарта является установление требований к расчету участков переменной жесткости железнодорожного пути.

Стандарт учитывает отечественный и зарубежный опыт расчета участков переменной жесткости железнодорожного пути.

В разработке стандарта принимали участие д.т.н. доцент Е.С. Ашпиз (научный руководитель работы), к.т.н. доцент А.В. Замуховский, к.т.н. А.В. Гречаник, зав. лаб. А.П. Шмаков.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

КОНСТРУКЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

Методика расчетов участков переменной жесткости

Railway track structures.
The method of calculating sections of variable stiffness

Дата введения — 2025—07—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает методику расчетов участков переменной жесткости железнодорожного пути, в том числе высокоскоростного железнодорожного пути.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 34530 Транспорт железнодорожный. Основные понятия. Термины и определения

ГОСТ 34759—2021 Железнодорожный подвижной состав. Нормы допустимого воздействия на железнодорожный путь и методы испытаний

ГОСТ Р 51685 Рельсы железнодорожные. Общие технические условия

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ 34530, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **подрессоренная масса экипажа:** Суммарная масса кузова и других элементов подвижного состава, находящихся над рессорным подвешиванием, приведенная к одному колесу.

3.2 **неподрессоренная масса экипажа:** Суммарная масса элементов экипажной части подвижного состава, находящихся ниже рессорного подвешивания, приведенная к одному колесу.

3.3 **приращение силового уклона:** Разница силового уклона на единице длины.

3.4 **рельсовое основание:** Элементы верхнего и нижнего строения пути, воспринимающие и распределяющие статические и динамические нагрузки от колес железнодорожного подвижного состава.

Издание официальное

3.5 **силовой уклон по головке рельса:** Уклон продольного профиля рельса, полученный как разница упругих осадок рельса под расчетной нагрузкой от подвижного состава в заданных сечениях, отнесенная к расстоянию между этими сечениями.

3.6 **участок переменной жесткости;** УПЖ: Специальная конструкция в зоне сопряжения участков железнодорожного пути с различной жесткостью, обеспечивающая постепенное изменение жесткости от одной конструкции к другой, для снижения интенсивности накопления остаточных деформаций рельсового основания.

Примечание — Зона сопряжения участков железнодорожного пути с различной жесткостью: путь на земляном полотне — путь на искусственном сооружении или путь на балласте — безбалластный путь.

3.7 **экипажная часть;** *экипаж*: Ходовая часть подвижного состава железных дорог.

4 Общие положения

4.1 При проходе подвижного состава по участку с перепадом жесткости рельсового основания от одной опоры к другой происходит возбуждение колебаний в вертикальной плоскости сначала неподрессоренной массы экипажа, а затем подрессоренной массы экипажа, вследствие чего возникают дополнительные силы инерции, действующие от подвижного состава на путь и отсутствующие на равножестком пути.

Участки сопряжения различных конструкций верхнего строения пути (путь на балласте — безбалластный путь) и/или нижнего строения пути (путь на земляном полотне — путь на искусственном сооружении) фиксированы, поэтому возбуждение колебаний элементов подвижного состава происходит в одном и том же сечении, что вызывает в этом месте остаточные деформации в балласте и грунтах земляного полотна, приводя к необходимости их устранения при текущем содержании пути.

4.2 Для снижения возникающих дополнительных сил инерции при прохождении подвижным составом сечения резкого изменения жесткости пути необходимо выполнить постепенное изменение жесткости пути от одной конструкции пути к другой за счет укладки УПЖ.

Плавность изменения параметров жесткости рельсового основания достигается при выполнении следующих критериев:

- силовой уклон по головке рельса $i_{УПЖ}$ соответствует условию

$$i_{УПЖ} \le [i_{УПЖ}] = 0{,}1\ ‰, \tag{1}$$

где $[i_{УПЖ}]$ — допускаемое значение силового уклона по головке рельса;

- приращение силового уклона $\Delta i_{УПЖ}$ соответствует условию

$$\Delta i_{УПЖ} \le [\Delta i_{УПЖ}] = 0{,}05\ ‰, \tag{2}$$

где $[\Delta i_{УПЖ}]$ — допускаемое значение приращения силового уклона.

Изменение силового уклона на длине УПЖ должно изменяться линейно;

- разность сил, действующих от рельса на смежные рельсовые опоры ΔQ, соответствует условию

$$\Delta Q \le [\Delta Q] = 6\ кН, \tag{3}$$

где $[\Delta Q]$ — допускаемая разность сил, действующих от рельса на смежные рельсовые опоры.

Изменение параметров, определяемых условиями (1)—(3) принимают по линейному закону.

Длина УПЖ $L_{УПЖ}$, м, должна быть не менее

$$L_{УПЖ} \ge \frac{V}{2f_0}, \tag{4}$$

где f_0 — частота собственных колебаний кузова подвижного состава, $с^{-1}$;

V — скорость движения, м/с.

5 Методика расчета участков переменной жесткости

5.1 Исходные данные

Для расчета параметров, входящих в условия (1)—(4), необходимы следующие исходные данные:

а) момент инерции рельса I, $м^4$.

Момент инерции рельса принимают по ГОСТ Р 51685 в зависимости от типа рельса;

б) модуль упругости рельсового основания U, МПа, или коэффициент относительной жесткости рельсового основания k, $м^{-1}$.

Коэффициент относительной жесткости рельсового основания k и модуль упругости рельсового основания U связаны зависимостью

$$k = \sqrt[4]{\frac{U}{4EI}}, \quad (5)$$

где E — модуль упругости рельсовой стали, принимаемый равным $2{,}1 \cdot 10^5$ МПа.

Для типовой конструкции верхнего строения пути на прочном и стабильном основании коэффициент относительной жесткости рельсового основания принимают по таблице Д.1 ГОСТ 34759—2021.

Для новой (проектируемой) конструкции верхнего строения пути коэффициент относительной жесткости рельсового основания вычисляют по формуле (5) исходя из жесткости отдельных элементов пути с учетом следующих зависимостей:

$$U = \frac{\beta}{l_ш}, \quad (6)$$

где $l_ш$ — расстояние между подрельсовыми опорами вдоль пути, м;

β — общая жесткость пути, вычисляемая по формуле

$$\frac{1}{\beta} = \sum \frac{1}{\beta_i}, \quad (7)$$

где β_i — жесткость отдельных элементов пути;

в) статическая нагрузка от колеса расчетного подвижного состава $P_{ст}$ на рельс, Н.

Расчет УПЖ рекомендуется вести для грузовых вагонов с наибольшей нагрузкой на ось и для локомотивов, курсирующих или планируемых для движения по данной линии;

г) колесная формула расчетного подвижного состава (расстояние между осями колесных пар);

д) подрессоренная масса экипажа, $m_к$, кг. Для локомотивов — при максимально снаряженном экипаже, для вагонов — при максимальной загрузке;

е) жесткость рессорного подвешивания экипажа, γ, Н/м.

5.2 Правила расчета

Расчет длины УПЖ состоит из этапов, описанных в 5.2.1—5.2.10.

5.2.1 Для каждой из сопрягаемых конструкций верхнего строения пути в соответствии с приложением Б ГОСТ 34759—2021 определяют среднюю вертикальную силу, передающуюся от рельса на шпалу при действии колес набегающей колесной пары на путь, $P_{ср}^{шп}$, Н, максимальное значение вертикальной силы, передающейся от рельса на шпалу при действии колес набегающей колесной пары на путь, $P_{макс}^{шп}$, Н, эквивалентную вертикальную силу для определения силы, передающейся от рельса на шпалу при действии колес набегающей колесной пары на путь, $P_{экв}^{II}$, Н.

Если отсутствует возможность определить максимальную вертикальную силу, передаваемую от колеса набегающей колесной пары на рельс с вероятностью 0,994, $P_в$, Н, и среднюю вертикальную силу, передаваемую от колеса набегающей колесной пары на рельс, $P_{ср}$, Н, экспериментально, их вычисляют по формулам (8), (10).

Среднюю вертикальную силу, передаваемую от колеса набегающей колесной пары на рельс, $P_{ср}$, Н, вычисляют по формуле

$$P_{ср} = P_{ст} + 0{,}75 \cdot k_д \cdot (P_{ст} - q_k), \quad (8)$$

где $P_{ст}$ — статическая нагрузка, действующая от колеса на рельс, Н;

q_k — неподрессоренная нагрузка от колеса на рельс, Н;

$k_д$ — коэффициент динамики подрессоренной части экипажа.

Коэффициент динамики подрессоренной части экипажа $k_д$ вычисляют по формуле

$$k_д = 0{,}1 + 0{,}2 \cdot \frac{V}{f_{ст}}, \quad (9)$$

где $f_{ст}$ — общий статический прогиб рессор экипажа, мм;

V — скорость экипажа, км/ч.

Максимальную вертикальную силу, передаваемую от колеса набегающей колесной пары на рельс с вероятностью 0,994, $P_в$, Н, вычисляют по формуле

$$P_в = P_{ср} + 2{,}5 \cdot S, \tag{10}$$

где S — величина суммарного среднеквадратического отклонения максимальной вертикальной силы $P_в$, Н.

Суммарное среднеквадратическое отклонение S вычисляют по формуле

$$S = \sqrt{S_р^2 + S_{н.п.}^2 + \frac{n}{100} S_{и.н.к.}^2 + \left(1 - \frac{n}{100}\right) S_{н.н.к.}^2}, \tag{11}$$

где $S_р$ — среднеквадратическое отклонение дополнительного вертикального воздействия на путь от работы рессор, Н;

n — процент колес в поезде, имеющих изолированные неровности на колесе. Если нет специально установленных данных, то при расчетах n обычно принимают равным 5 %, то есть считают, что остальные 95 % колес имеют лишь непрерывные неровности на поверхности катания колес;

$S_{н.п.}$ — среднеквадратическое отклонение дополнительной инерционной вертикальной нагрузки от неровности пути, Н;

$S_{и.н.к.}$ — среднеквадратическое отклонение дополнительной инерционной вертикальной нагрузки на рельсы от влияния непрерывной неровности на колесе, Н;

$S_{н.н.к.}$ — среднеквадратическое отклонение дополнительной инерционной вертикальной нагрузки на рельсы от влияния изолированной неровности на колесе, Н.

Среднеквадратическое отклонение дополнительного вертикального воздействия на путь от работы рессор $S_р$ вычисляют по формуле

$$S_р = 0{,}08 \cdot k_д \cdot (P_{ст} - q_k). \tag{12}$$

Для определения среднеквадратического отклонения дополнительной инерционной вертикальной нагрузки от неровности пути $S_{н.п.}$ вычисляют по формуле

$$S_{н.п.} = \frac{9{,}1 \cdot 10^{-3} \cdot P_{ср} \cdot V \cdot \sqrt{q_k}}{(EI)^{\frac{1}{8}} \cdot U^{\frac{3}{8}}}. \tag{13}$$

Среднеквадратическое отклонение дополнительной инерционной вертикальной нагрузки на рельсы от влияния непрерывной неровности на колесе $S_{н.н.к.}$ вычисляют по формуле

$$S_{н.н.к.} = \frac{0{,}052 \cdot \alpha_0 \cdot U \cdot V^2 \cdot \sqrt{q_k}}{d^2 \sqrt{k \cdot U - 3{,}26 \cdot k^2 \cdot q_k}}, \tag{14}$$

где α_0 — коэффициент, характеризующий отношение необрессоренной массы колеса и участвующей во взаимодействии массы пути, равный 0,403;

d — диаметр колеса, м.

Среднеквадратическое отклонение дополнительной инерционной вертикальной нагрузки на рельсы от влияния изолированной неровности на колесе $S_{и.н.к.}$ вычисляют по формуле

$$S_{и.н.к.} = 0{,}25 \cdot 1{,}47 \cdot \frac{2U}{k} e_н, \tag{15}$$

где $e_н$ — наибольшая расчетная глубина неровности на колесе, для вагонных колес принимают 0,67 мм, для локомотивных — 0,47 мм.

5.2.2 Вычисляют прогиб рельса y_i для каждой из сопрягаемых конструкций верхнего строения пути по формуле

$$y_i = \frac{P_{экв,i}^{II} k_i}{2U_i}. \tag{16}$$

5.2.3 Вычисляют собственную частоту колебания кузова на рессорах f_0 по формуле

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\gamma}{m_к}}. \tag{17}$$

5.2.4 Вычисляют разницу сил, действующих на опоры от рельса, $\Delta P^{шп}_{макс}$ по формуле

$$\Delta P^{шп}_{макс} = | P^{шп}_{макс,1} - P^{шп}_{макс,2} |, \quad (18)$$

где $P^{шп}_{макс,1}$, $P^{шп}_{макс,2}$ — силы, действующие на опоры от рельса для сопрягаемых конструкций верхнего строения 1 и 2 соответственно.

5.2.5 Вычисляют разницу прогибов рельса для каждой из сопрягаемых конструкций верхнего строения пути Δy по формуле

$$\Delta y = |y_1 - y_2|, \quad (19)$$

где y_1, y_2 — прогибы рельса для сопрягаемых конструкций верхнего строения 1 и 2, мм, соответственно.

5.2.6 Определяют длину УПЖ согласно условию (4) и увеличивают ее до величины, кратной целому числу рельсовых опор на длине УПЖ $N_{УПЖ}$.

5.2.7 Вычисляют силовой уклон i по формуле

$$i = \frac{\Delta y}{L_{УПЖ}}, \text{ ‰}. \quad (20)$$

Проверяют выполнение условия (1).

5.2.8 Вычисляют приращение силового уклона Δi по формуле

$$\Delta i = \frac{i}{N_{УПЖ}}. \quad (21)$$

Проверяют выполнение условия (2).

5.2.9 Вычисляют разность сил, действующих от рельса на смежные опоры, ΔQ по формуле

$$\Delta Q = \frac{\Delta P^{шп}_{макс}}{N_{УПЖ}}. \quad (22)$$

Проверяют выполнение условия (3).

5.2.10 Если хотя бы одно из условий (1)—(4) не выполняется, то последовательно увеличивают длину УПЖ кратно расстоянию между рельсовыми опорами до достижения выполнения условий.

Полученную длину УПЖ считают расчетной.

Если на участке планируется движение нескольких типов подвижного состава, то расчет выполняют для каждого из них, а за окончательное значение длины УПЖ принимают наибольшее из рассчитанных.

Приложение А
(справочное)

Пример расчета участков переменной жесткости

Определяют параметры конструкции УПЖ для сопряжения двух конструкций пути с модулем упругости рельсового основания 50 и 200 МПа. Принимают следующие эксплуатационные условия:

- тип рельса Р65;
- прямой участок пути;
- расстояние между опорами $l_ш$ = 0,55 м;
- скорость грузового движения V = 90 км/ч;
- тип грузового подвижного состава 2ЭС6;
- скорость пассажирского движения 160 км/ч;
- тип пассажирского подвижного состава ЭС2Г.

В таблице А.1 приведены параметры локомотивов 2ЭС6 и ЭС2Г.

Таблица А.1 — Характеристики подвижного состава

Тип и серия подвижного состава	Статическая нагрузка от колеса на рельс $P_{ст.}$, Н	Неподрессоренная нагрузка от колеса на рельс q, Н	Подрессоренная нагрузка от колеса на рельс m_k, Н	Статический прогиб рессорного подвешивания $f_{ст.}$, мм	Диаметр колеса d, м	Количество осей тележки N, шт.	Расстояние между осями l_1, м
2ЭС6	120173	34521	85651	106	1,25	2	3,0
ЭС2Г	93195	11654	81541	63	0,92	2	2,6

Рассматривают расчет длины УПЖ при воздействии грузового локомотива 2ЭС6.

Используя формулы (8)—(15) и приложение Б ГОСТ 34759—2021, определяют среднюю вертикальную силу, передающуюся от рельса на шпалу при действии колес набегающей колесной пары на путь $P_{ср}^{шп}$, Н, максимальное значение вертикальной силы, передающейся от рельса на шпалу при действии колес набегающей колесной пары на путь, $P_{макс}^{шп}$, Н, эквивалентную вертикальную силу для определения силы, передающейся от рельса на шпалу при действии колес набегающей колесной пары на путь $P_{экв}^{II}$, Н.

Расчетные значения сил приведены в таблице А.2.

Таблица А.2 — Расчетные значения сил и среднеквадратических отклонений, Н

U, МПа	$P_{ср}$	$S_р$	$S_{н.п.}$	$S_{и.н.к.}$	$S_{н.н.к.}$	$P_в$	$P_{экв}^{II}$	$P_{макс}^{шп}$	$P_{ср}^{шп}$
200	137536	1849	22818	22897	23	194729	194042	88074	66056
50	137536	1849	38387	14519	15	233576	228279	73251	54938

Согласно формуле (16) упругий прогиб рельса составит 0,8 мм при модуле упругости подрельсового основания 200 МПа и 2,7 мм — при 50 МПа.

Собственная частота колебания кузова на рессорах, согласно формуле (17), составит

$$f_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{808038}{8731}} = 1{,}53 \text{ Гц}.$$

При расчете по формуле (19) разница сил, действующих на опоры от рельса, $\Delta P_{макс}^{шп}$ составила 88074 – 73251 = 14823 Н, а разница прогибов рельса Δy для каждой из сопрягаемых конструкций верхнего строения пути, согласно формуле (19), составила 2,7 – 0,8 = 1,9 мм.

Таким образом, согласно условию (4), длина УПЖ $L_{УПЖ}$ составит

$$L_{УПЖ} = \frac{90/3{,}6}{2 \cdot 1{,}53} = 8{,}2 \text{ м}.$$

Исходя из условия, что длина УПЖ должна быть кратна целому числу рельсовых опор, увеличивают длину УПЖ до 8,25 м.

По формуле (20) определяют силовой уклон:

$$i = \frac{1{,}9}{8{,}25} = 0{,}23 \text{ ‰}.$$

Полученное значение силового уклона превышает допускаемое значение 0,1 ‰, поэтому условие (1) не выполняется.

Для обеспечения условия (1) необходимо увеличить длину УПЖ $L_{УПЖ}$, которая составит:

$$L_{УПЖ} = \frac{\Delta y}{[i_{УПЖ}]} = \frac{1{,}9}{0{,}1} = 19 \text{ м}.$$

Приращение силового уклона Δi определяют по формуле (21).

$$\Delta i = \frac{0{,}23}{15} = 0{,}0154 \text{ ‰}.$$

Полученное значение приращения силового уклона удовлетворяет условию (2), поскольку меньше 0,05 ‰.

По формуле (22) определяют разность сил, действующих на смежные опоры ΔQ.

$$\Delta Q = \frac{14823}{15} = 990 \text{ Н} = 0{,}99 \text{ кН}.$$

Полученное значение разности сил, действующих на смежные опоры, удовлетворяет условию (4) и не превышает 6 кН.

Таким образом, при длине УПЖ, равной 19 м, условия (1) — (4) будут выполнены.

Исходя из условия, что длина УПЖ должна быть кратна целому числу рельсовых опор, увеличивают длину УПЖ до 19,25 м.

Таким образом, количество рельсовых опор составит 35 шт.

Аналогично выполняют расчет длины УПЖ при движении пассажирского локомотива ЭС2Г и получают 18,7 м.

Поскольку длина УПЖ при движении пассажирского подвижного состава ЭС2Г меньше, чем при движении грузового локомотива 2ЭС6, длину УПЖ 19,25 м считают расчетной.

Библиография

[1] Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ Технический регламент о безопасности зданий и сооружений

УДК 625.04:006.354 ОКС 45.080

Ключевые слова: методика расчета, железнодорожный путь, участки сопряжения, участок переменной жесткости

Редактор *М.В. Митрофанова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *Р.А. Ментова*
Компьютерная верстка *И.А. Налейкиной*

Сдано в набор 12.05.2025. Подписано в печать 16.05.2025. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 1,40. Уч.-изд. л. 1,23.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.

gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru