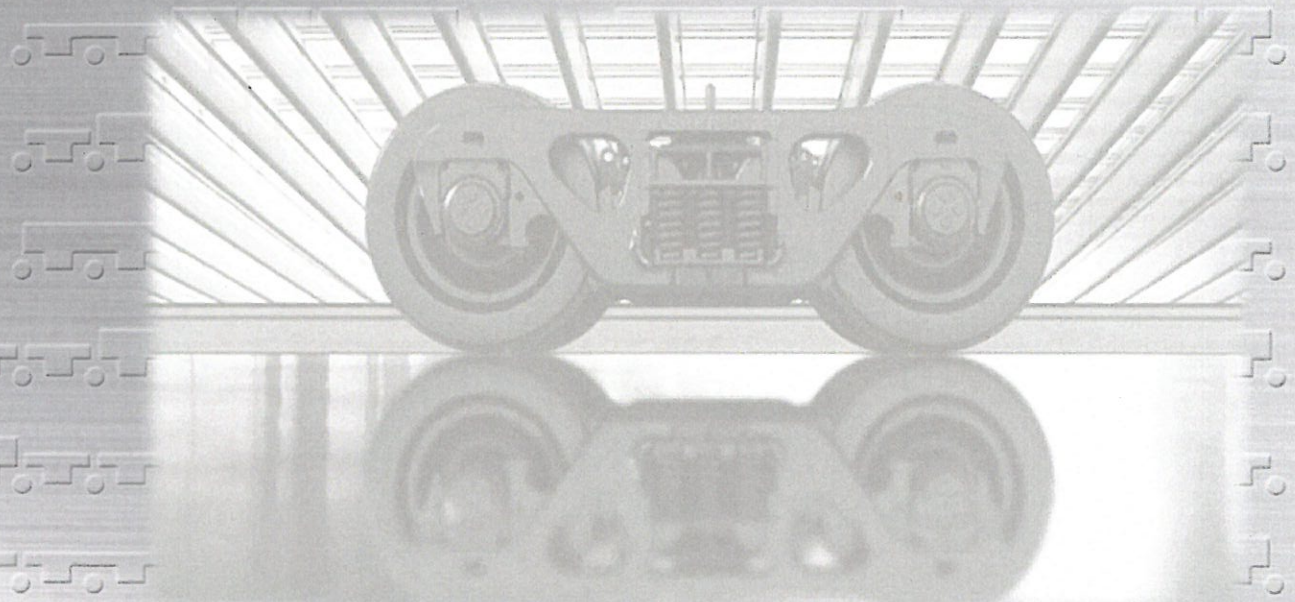




ЦЕНТР  
ТРАНСПОРТНЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ



Третий научно-технический семинар  
**Компьютерное моделирование в железнодорожном транспорте:  
динамика, прочность, износ**

**Гусев Артем Владимирович**

ООО «ВНИЦТТ», Санкт-Петербург

**Оценка воздействия на путь грузового вагона методом  
математического моделирования его движения**



## Цель исследовательской работы

Ограничения допускаемых скоростей движения вагона на различных конструкциях пути определяют:

- напряжения на основной площадке земляного полотна;
- напряжения в балласте под шпалой;
- динамическая погонная нагрузка.

Для определения данных показателей используется коэффициент вертикальной динамики  $k_{дв}$ :

По «Нормам расчета и проектирования...»

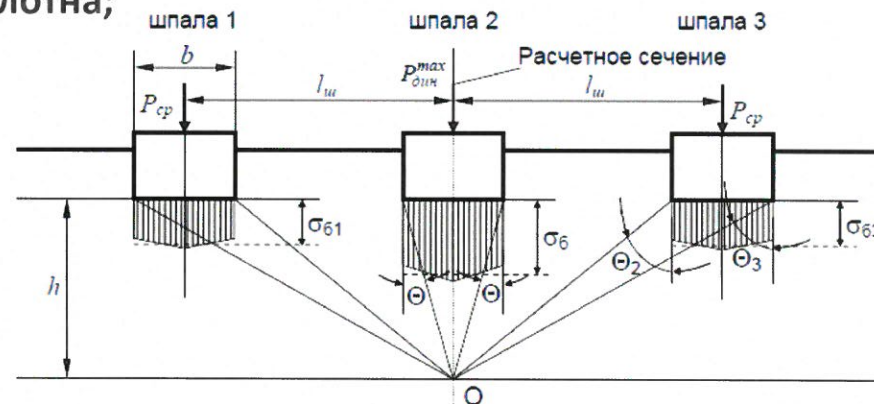
$$k_{дв} = \frac{\overline{k_{дв}}}{\beta} \sqrt{\frac{4}{\pi} \ln \frac{1}{1-P(k_{дв})}}; \overline{k_{дв}} = a + 3,6 \cdot 10^{-4} b \frac{(V-15)}{f^p},$$

где  $\overline{k_{дв}}$  – среднее вероятное значение коэффициента вертикальной динамики.

ГОСТ Р 55050-2012

Железнодорожный подвижной состав.  
Нормы допустимого воздействия на ж/д путь и методы испытаний

Ссылка на



Расчетная схема определения напряжений на основной площадке земляного полотна

По ЦПТ-52/14 «Методика оценки воздействия подвижного состава на путь по условиям обеспечения его надежности»

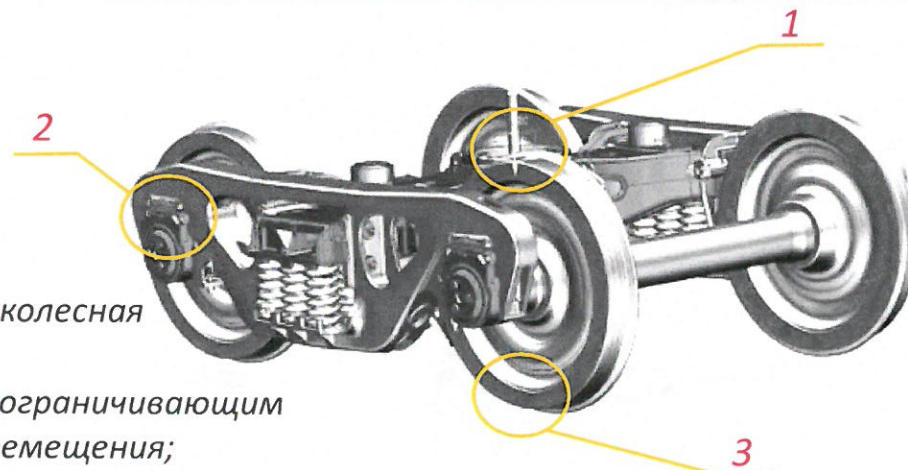
$$k_{дв} = 0,1 + 0,2 \frac{V}{f_{ст}},$$

где  $f_{ст}$  – статический прогиб рессорного подвешивания, мм.

## Цель

Рассмотреть действующую методику определения воздействия на путь и предложить направление по ее совершенствованию

Тележка модели 18-9855 с осевой нагрузкой 25 тс

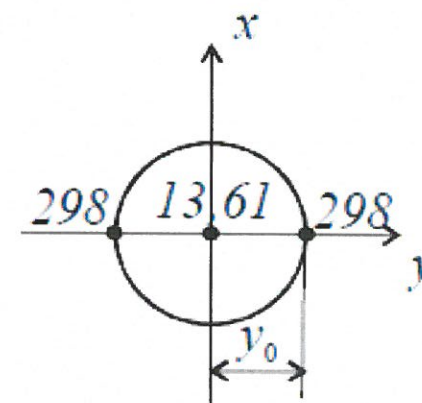


1. Моделирование работы узла пятник-подпятник элементами

2. Связь боковая рама – колесная пара моделируется:

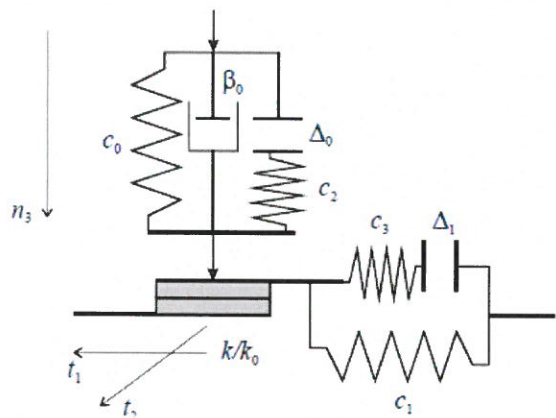
- элементом-упором, ограничивающим горизонтальные перемещения;
- элементом, обеспечивающим сухое трение в горизонтальной плоскости.

3. Качение колеса по рельсу реализуется нелинейным элементом, требующим задания координат оси колеса, профиля колеса и рельса и др. параметров



- №13 – сферический шарнир;
- №61 – упругий элемент, реализующий эквивалентную жесткость при галопировании тележки;
- №298 – нелинейный элемент, реализующий работу сил сухого трения в горизонтальной плоскости и сопротивление при перевалке кузова.

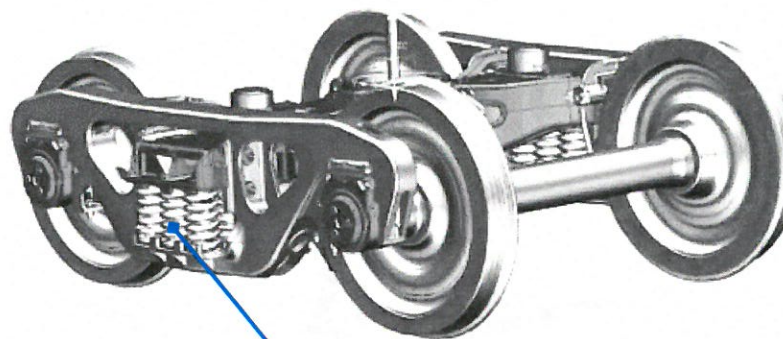
Механическая схема элемента №298





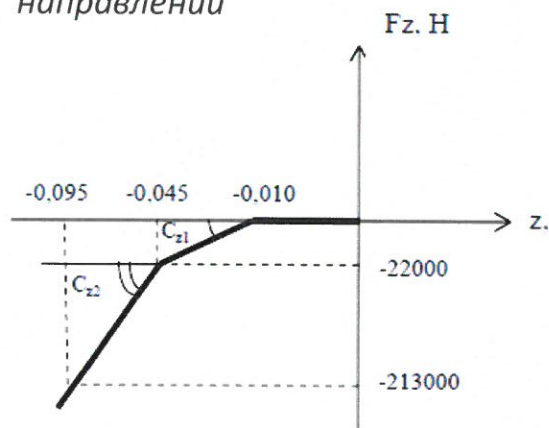
Оценка воздействия на путь проводилась с использованием программного комплекса «Medyna».

Тележка модели 18-9855 с осевой нагрузкой 25 тс



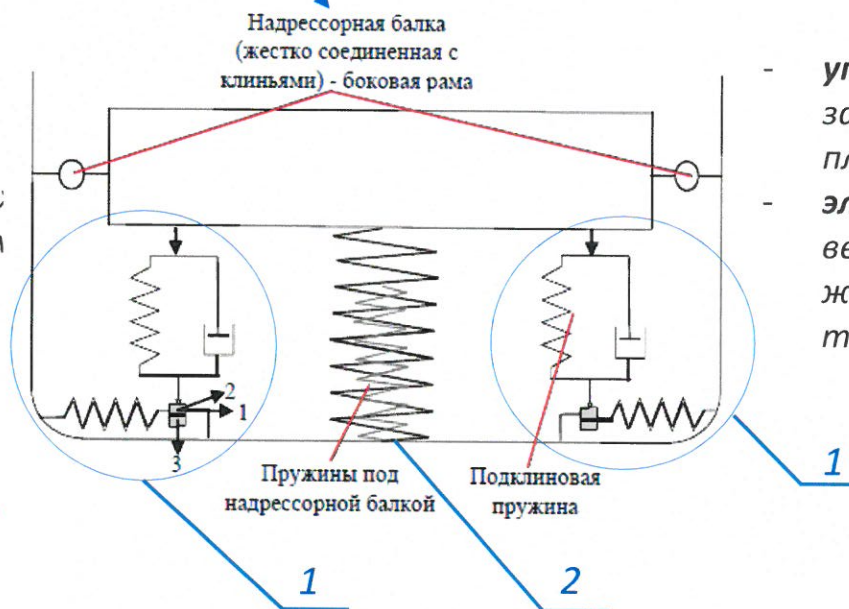
**2. Пружины под наддрессорной балкой моделируется:**

- упругим элементом с линейной жесткостью в продольном и поперечном направлениях и угловой для трех направлений;
- элементом с нелинейной зависимостью усилия в пружинах от перемещения в вертикальном направлении



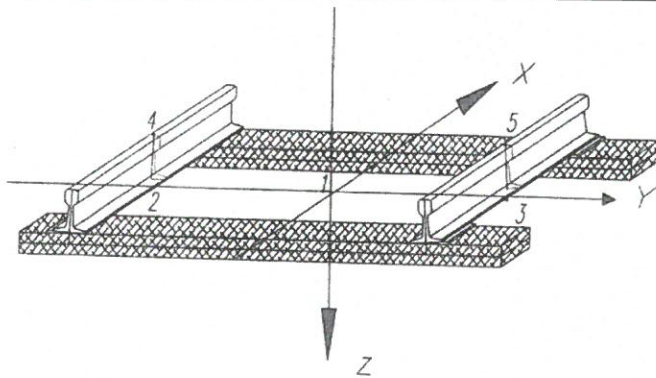
**1. Подклиновья пружина моделируется:**

- упругим элементом с заданием жесткости в плане;
- элементом, задающим вертикальную жесткость и силы сухого трения



*Характеристики рельсо-шпальной решетки*

Параметр	Единица измерения	Значение
<b>Для крепления рельса к шпале (на одну сторону)</b>		
Вертикальная жесткость	МН/м	50
Горизонтальная (поперечная) жесткость	МН/м	20
Вертикальный коэффициент вязкого трения	МН·с/м	0,80
Горизонтальный коэффициент вязкого трения	МН·с/м	3,2
<b>Для земляного полотна (на одну сторону)</b>		
Вертикальная жесткость	МН/м	97
Горизонтальная (поперечная) жесткость	МН/м	20
Вертикальный коэффициент вязкого трения	МН·с/м	0,40
Горизонтальный коэффициент вязкого трения	МН·с/м	0,35



*Элемент ж/д пути*

*Рельсошпальная решетка и земляное полотно моделируется*

- *пространственным упругодемпфирующим элементом, реализующим жесткости и демпфирование для трех направлений перемещения и поворота.*



# Оценка воздействия на путь грузового вагона методом математического моделирования его движения



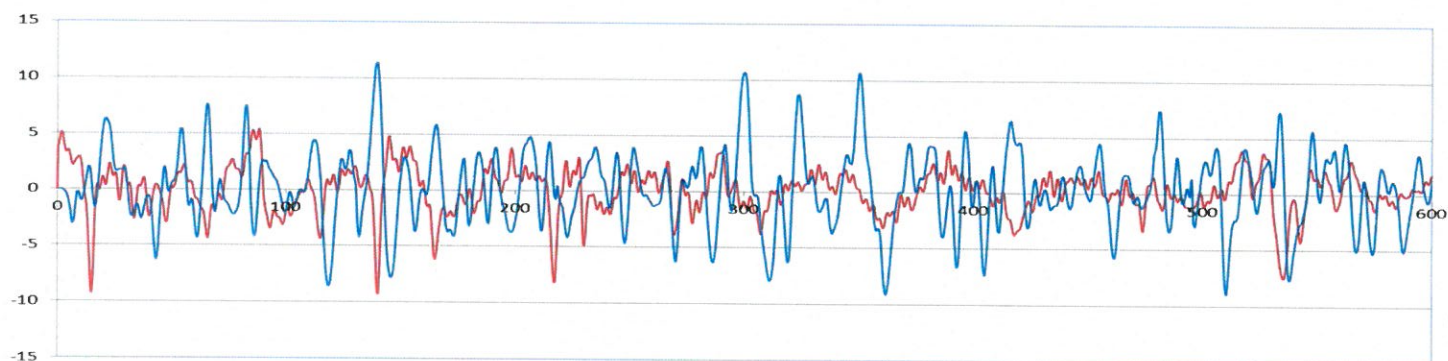
Временные реализации горизонтальных и вертикальных неровностей приняты по

**РД 32.68-96** «Расчетные неровности железнодорожного пути для использования при исследованиях и проектировании пассажирских и грузовых вагонов».

в соответствии с



**ЦП-774** «Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути».

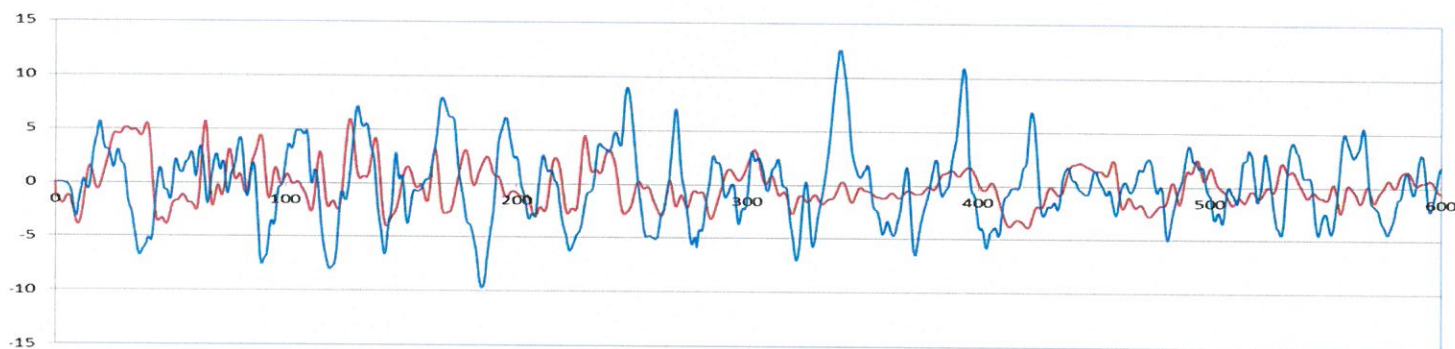


*Вертикальные неровности левой рельсовой нити*

Числовые реализации неровностей

— СИП

— по РД 32.68-96



*Горизонтальные неровности левой рельсовой нити*

## Оценочные критерии воздействия вагона на путь в соответствии с *ГОСТ Р 55050-2012*:

- динамические напряжения растяжения в кромках подошвы рельса;
- напряжения в кромках подошвы острияков стрелочных переводов;
- **напряжения на основной площадке земляного полотна  $\sigma_h$** ;
- **напряжения в балласте под шпалой  $\sigma_{бр}$** ;
- напряжения на смятие в деревянных шпалах под подкладками;
- критерий устойчивости рельсошпальной решетки от поперечного сдвига по балласту;
- **динамическая погонная нагрузка на ж/д путь от тележки  $q$** .



Метод математического моделирования

Определение численных значений вертикальных динамических сил, действующих на рессорный комплект

*ГОСТ Р 55050-2012*

Максимально вероятные значения  $k_{дв}$

В соответствии с ЦПТ-52/14

Определение  $\sigma_h$  и  $\sigma_{бр}$ , динамической максимальной нагрузки колеса на рельс  $P_p^{max}$

$$P_p^{max} = k_{дв} (P_{ст} - q),$$

где  $k_{дв}$  - коэффициент вертикальной динамики;

$P_{ст}$  - статическая нагрузка от колеса на рельс, кгс;

$q$  - отнесенный к колесу вес необрессоренных частей.



## Совершенствование существующей методики ЦПТ-52/14

Максимальная эквивалентная нагрузка для расчетов напряжений и сил в элементах подрельсового основания

$$P_{\text{ЭКВ}}^{II} = P_{\text{ДИН}}^{\text{max}} + \sum \eta_i \cdot P_{\text{СПИ}},$$

где  $P_{\text{ДИН}}^{\text{max}}$  - динамическая максимальная нагрузка от колеса на рельс, кгс (по результатам моделирования);

$\eta_i$  - ординаты линии влияния прогибов рельса в сечениях пути, расположенных под колесными нагрузками от осей экипажа, смежных с расчетной осью, см;

$P_{\text{СПИ}}$  - средняя нагрузка от колеса на рельс, кгс (по результатам моделирования);

### Напряжения в балласте под шпалой по ЦПТ-52/14 и с учетом ее усовершенствования

Конструкция пути	Напряжения в балласте под шпалой (кг/см <sup>2</sup> ) при движении груженого вагона по участкам пути со скоростями, км/ч								Допускаемое значение, (кг/см <sup>2</sup> )
	Прямая			Кривая радиусом 650 м			Кривая радиусом 350 м		
	80	100	120	80	100	120	60	85	
	По Методике								<b>4,90</b>
P65(6)1840(ЖБ)Щ	2,23	2,34	2,45	2,28	2,34	2,57	2,17	2,36	
P65(6)2000(ЖБ)Щ	2,10	2,20	2,30	2,14	2,20	2,41	2,04	2,22	
	С учетом совершенствования								
P65(6)1840(ЖБ)Щ	2,43	2,49	2,46	2,47	2,47	2,58	2,43	2,52	
P65(6)2000(ЖБ)Щ	2,32	2,37	2,34	2,35	2,35	2,45	2,31	2,39	



# Оценка воздействия на путь грузового вагона методом математического моделирования его движения



## Совершенствование существующей методики ЦПТ-52/14

*Напряжения на основной площадке земляного полотна по ЦПТ-52/14 и с учетом ее усовершенствования*

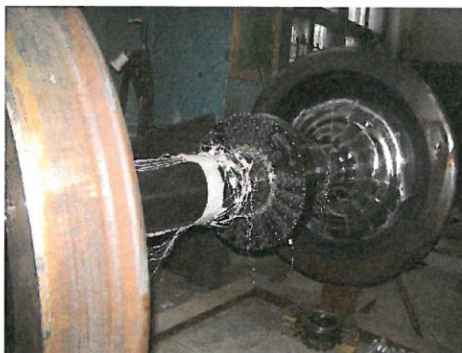
Конструкция пути	Напряжения на основной площадке земляного полотна (кг/см <sup>2</sup> ) при движении груженого вагона по участкам пути со скоростями, км/ч								Допускаемое значение, (кг/см <sup>2</sup> )
	Прямая			Кривая радиусом 650 м			Кривая радиусом 350 м		
	80	100	120	80	100	120	60	85	
	По Методике								
Р65(6)1840(ЖБ)Щ	0,68	0,71	0,74	0,69	0,71	0,78	0,66	0,71	<b>0,80</b>
Р65(6)2000(ЖБ)Щ	0,67	0,70	0,74	0,68	0,70	0,77	0,66	0,71	
	С учетом совершенствования								
Р65(6)1840(ЖБ)Щ	0,73	0,74	0,74	0,74	0,74	0,77	0,73	0,75	
Р65(6)2000(ЖБ)Щ	0,73	0,75	0,74	0,74	0,74	0,77	0,73	0,75	

### Вывод:

значения  $\sigma_h$  и  $\sigma_{бр}$  по усовершенствованной методике выше на 10%, чем по существующей.

Оценка воздействия на путь в ЕС в настоящее время регламентируется стандартом **EN 14363** и выполняется непосредственно по вертикальным и боковым силам, действующим от колеса на рельс.

Тензометрическая КП для оценки воздействия на путь при испытаниях

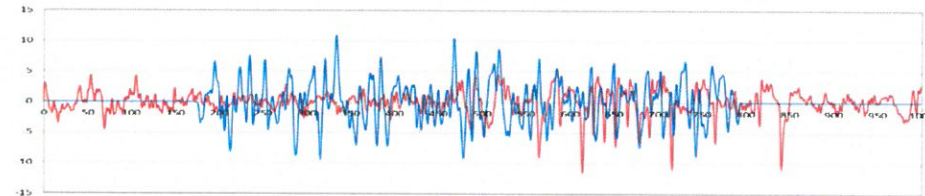




## Заключение

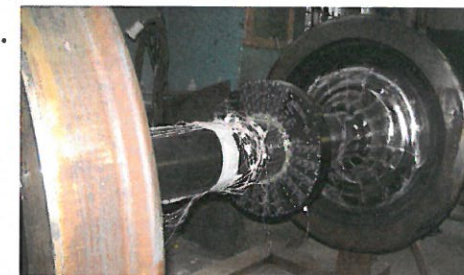
1. Для достоверной оценки влияния вагона на железнодорожный путь методами математического моделирования необходимы:

*достоверные данные о **неровностях** рельсовых нитей и параметрах современных **конструкций** пути*



2. Рассмотрена действующая методика оценки воздействия на путь и предложено направление по ее совершенствованию, заключающееся в использовании нагрузок от колеса на рельс, полученных непосредственно по результатам моделирования.

3. Для верификации результатов моделирования с данными, полученными при испытаниях, рекомендовано использовать тензометрические КП.



4. Выделено, что существующие методики оценки воздействия на путь по ЦПТ-52/14 и ГОСТ Р 55050-2012 избыточны

↓ Принять во внимание стандарт **EN 14363**

Оценка воздействия на путь производится непосредственно по вертикальным и боковым силам, действующим от колеса на рельс



Спасибо за внимание

Ц.Т.Т.

