

Принципы разработки норм содержания пути для высокоскоростного движения

Тихов М.С., Левинзон М.А., Харитонов Б.В.
ООО «ИЦ ВЭИП»

Критерии нормирования содержания пути для высокоскоростного движения

Безопасность движения
экипажа

Устойчивость от
вкатывания колеса на

рельс
Устойчивость от
раскантовки рельсовой

колеи
Прочность элементов
верхнего строения пути

Устойчивость от выброса
бесстыкового пути в
поперечном направлении

Комфорт пассажиров

Плавность хода в
вертикальной и
горизонтальной
плоскостях

Принципы нормирования параметров пути

Существующие

Одиночные геометрические неровности в плане и профиле пути и их сочетания, определяемые вагоном-путеизмерителем

Предлагаемые

Интегральная оценка состояния пути на основе спектрального анализа геометрических неровностей

Оценка по показателям динамики движения высокоскоростных экипажей, измеряемых в эксплуатации

Сравнение отечественных и зарубежных нормативов содержания высокоскоростного пути

| Показатель | Отечественный подход | Зарубежный подход |
|--|-------------------------------------|--|
| Диагностика состояния пути | Специальные вагоны-путьеизмерители | Специальные вагоны-путьеизмерители и измерение динамики экипажей |
| Геометрия пути | Нормируется по абсолютным значениям | Нормируется по абсолютным значениям и интегральной оценке |
| Боковая сила, устойчивость от вкатывания | Нормируется по абсолютной величине | Нормируется по величине при определенном времени действия |
| Дополнительная вертикальная сила | Не нормируется | Нормируется по абсолютной величине |

Граничные значения спектральных плотностей неровностей пути в продольном профиле для линии Санкт – Петербург – Москва

| Длина неровности, м | Частота, 1/см | Границы спектральных плотностей см ³ | |
|---------------------|---------------|---|------------------------|
| | | Между 1 и 2 категорией | Между 2 и 3 категорией |
| 30 | 2.093e-03 | 7.44e+02 | 2.97e+03 |
| 20 | 3.140e-03 | 5.02e+01 | 2.01e+02 |
| 10 | 6.280e-03 | 4.55e-01 | 1.82e 00 |
| 5 | 1.256e-02 | 2.61e-01 | 1.04e 00 |
| 4 | 1.570e-02 | 1.08e-01 | 4.32e-01 |
| 3 | 2.093e-02 | 1.60e-02 | 6.40e-02 |
| 2 | 3.140e-02 | 7.94e-04 | 3.18e-03 |
| 1 | 6.280e-02 | 1.14e-04 | 4.56e-04 |

Оценка ускорений кузова экипажа на неровностях соответствующих выбранным границам градации спектральных

| Скорость, км/ч | Экипаж | Граница 1-2 | | | | Граница 2-3 | | | |
|----------------|--------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | A _В | W _В | A _Г | W _Г | A _В | W _В | A _Г | W _Г |
| 160 | ЧС200 | 0.08 | 2.1 | 0.02 | 1.6 | 0.16 | 2.6 | 0.04 | 2.1 |
| | Velaro | 0.10 | 2.3 | 0.03 | 2.2 | 0.2 | 2.8 | 0.06 | 2.7 |
| 200 | ЧС200 | 0.11 | 2.4 | 0.01 | 1.6 | 0.22 | 2.9 | 0.03 | 1.9 |
| | Velaro | 0.16 | 2.7 | 0.06 | 2.5 | 0.31 | 3.3 | 0.12 | 2.7 |
| 250 | Velaro | 0.17 | 2.9 | 0.09 | 2.9 | 0.33 | 3.4 | 0.18 | 3.6 |

плотностей A_В и A_Г – вертикальные и горизонтальные ускорения кузова соответственно в долях g
W_В и W_Г - показатели плавности хода в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Критерии интегральной оценки состояния пути по комфорту пассажиров – СКО на длине 1000 м

| Тип неровностей пути | Граничные значения СКО неровностей пути, мм | |
|----------------------|---|-------------------------|
| | Между 1 и 2 категориями | Между 2 и 3 категориями |
| В продольном профиле | 3.0 | 6.0 |
| В плане | 4.5 | 9.0 |
| По уровню | 4.5 | 9.0 |

Коэффициент устойчивости колеса от схода с рельса при периоде неровности перекоса 3м

| Тип подвижного состава | Амплитуда неровности, мм | Отвод неровности, ‰ | Скорость движения км/ч | | |
|------------------------|--------------------------|---------------------|------------------------|-------|-------|
| | | | 160 | 200 | 250 |
| ЧС200 | 4 | 2.7 | 1.7 | 1.5 | |
| | 8 | 5.3 | < 1.5 | < 1.5 | |
| | 12 | 8.0 | < 1.5 | < 1.5 | |
| | 16 | 10.7 | < 1.5 | < 1.5 | |
| | 20 | 13.3 | < 1.5 | < 1.5 | |
| Velaro | 4 | 2.7 | 2.4 | 2.2 | 1.5 |
| | 8 | 5.3 | 2.3 | 2.0 | < 1.5 |
| | 12 | 8.0 | < 1.5 | < 1.5 | < 1.5 |
| | 16 | 10.7 | < 1.5 | < 1.5 | < 1.5 |
| | 20 | 13.3 | < 1.5 | < 1.5 | < 1.5 |
| Невский экспресс | 4 | 2.7 | 1.8 | 1.6 | |
| | 8 | 5.3 | < 1.5 | < 1.5 | |
| | 12 | 8.0 | < 1.5 | < 1.5 | |
| | 16 | 10.7 | < 1.5 | < 1.5 | |
| | 20 | 13.3 | < 1.5 | < 1.5 | |

Эффективная коничность

Эффективная коничность - это угол, образуемый в точке контакта поверхностями катания рельса и колеса

Результаты оценки критической скорости (км/ч) возникновения интенсивных колебаний виляния в зависимости от эффективной коничности и трибологических характеристик контакта

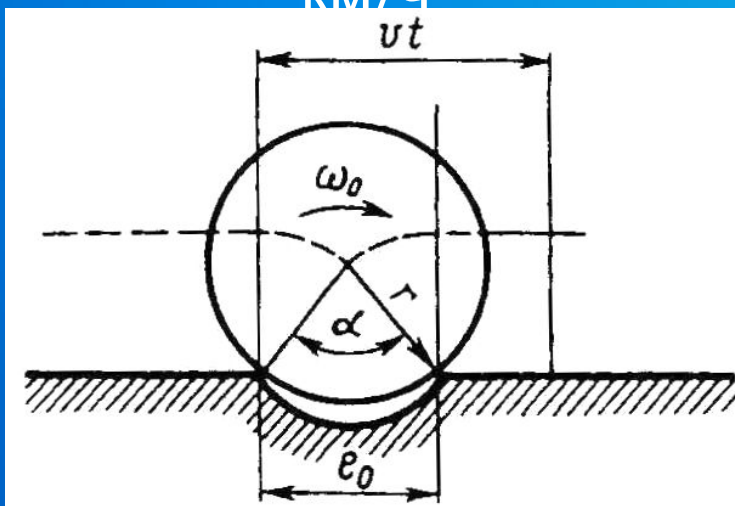
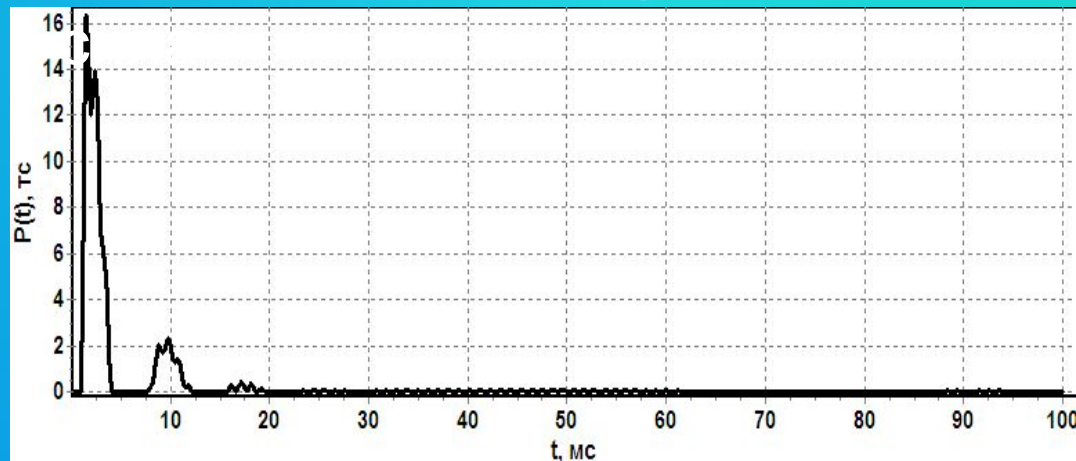
| Эффективная коничность | Velaro rus | | ЧС200 | | Невский экспресс | |
|------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|------------------------|
| | сухой, летний период | влажный, зимний период | сухой, летний период | влажный, зимний период | сухой, летний период | влажный, зимний период |
| 0.025 | Более 350 | Более 350 | 225 | Более 350 | 260 | Более 350 |
| 0.050 | 300 | Более 350 | 200 | Более 350 | 210 | 325 |
| 0.075 | 250 | 325 | 175 | 350 | 180 | 260 |
| 0.100 | 205 | 270 | 170 | 325 | 160 | 225 |

Явление удара при движении колеса по рельсу с короткой изолированной

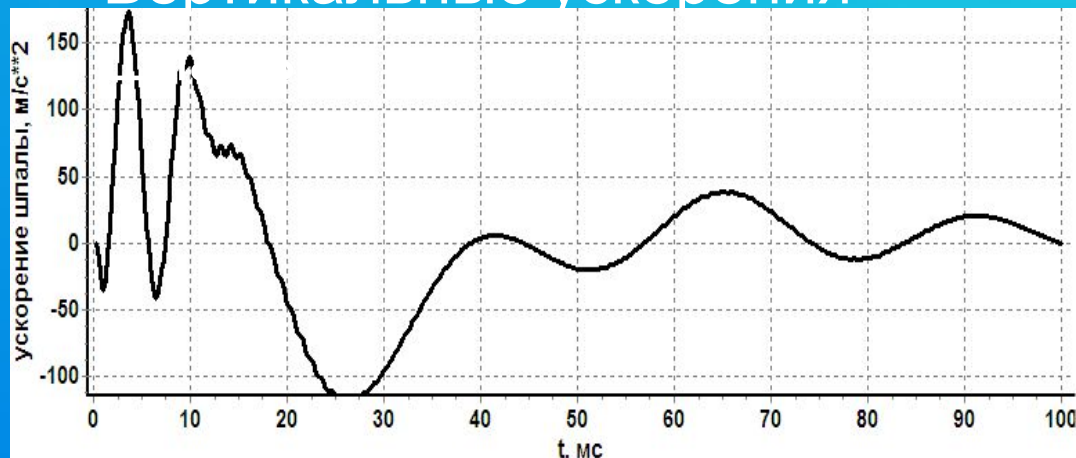
неровностью

Дополнительная вертикальная

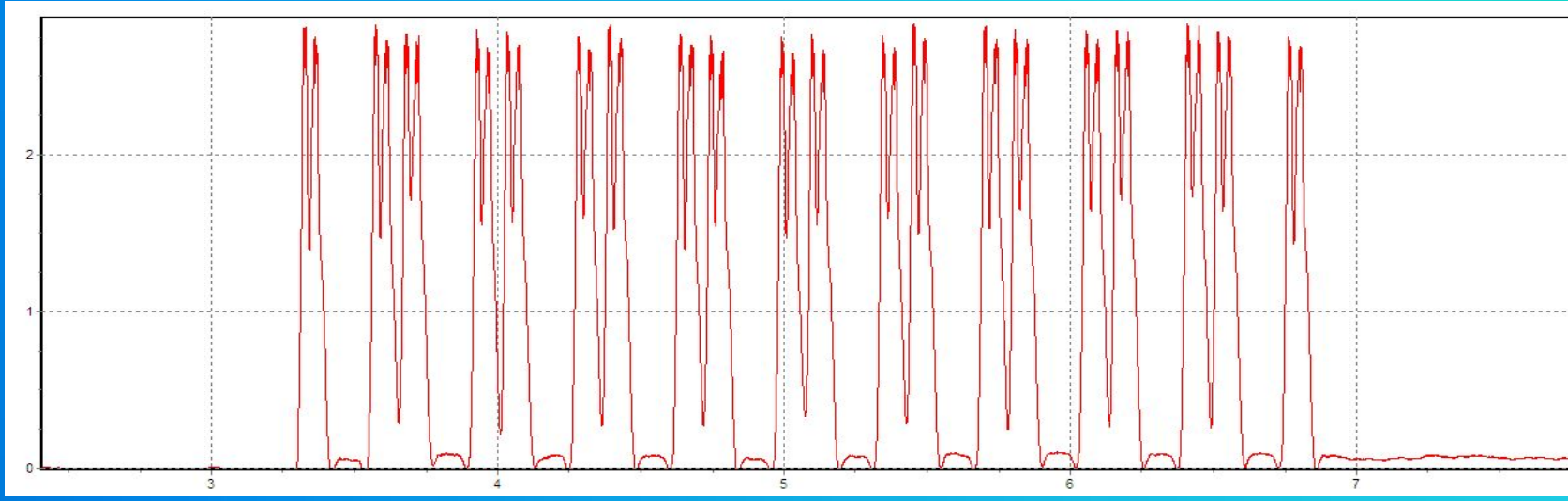
Математическое моделирование движения электровоза ЧС200 с ползуном глубиной 1 мм, скорость движения 200 км/ч



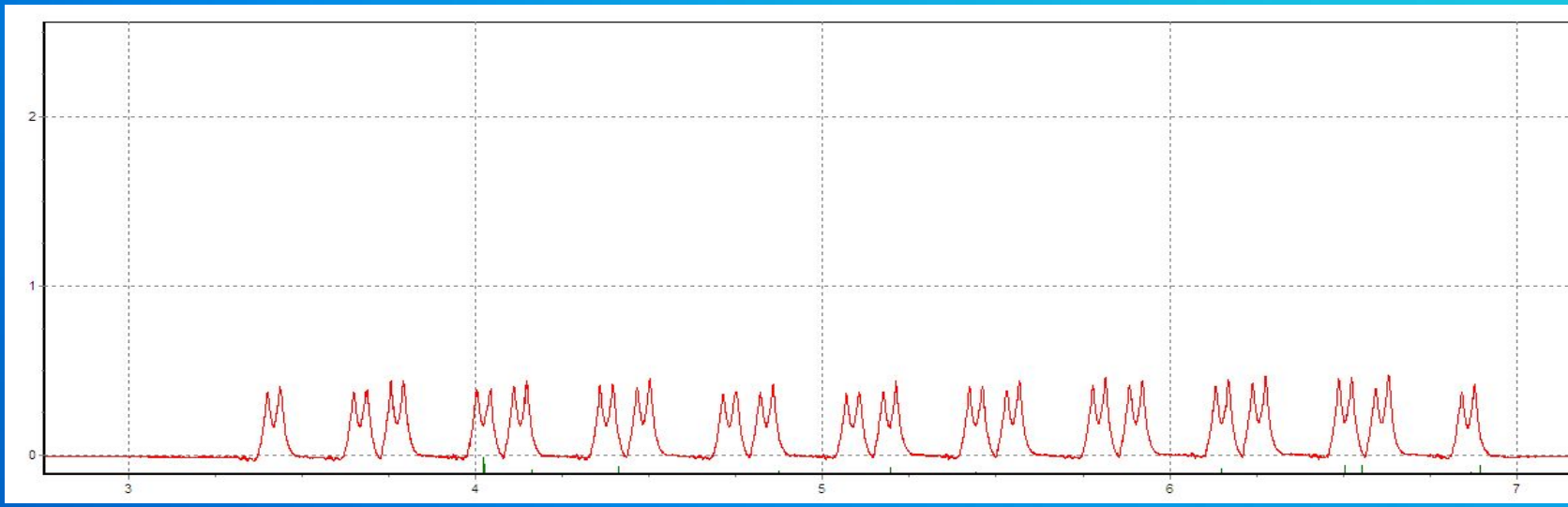
Вертикальные ускорения



Гросадки рельса (мм) при движении «Сапсана» Сварной стык (силовая неровность)



Обычное сечение рельса



Выводы

- Проведенный анализ реального состояния геометрии пути на направлении Санкт – Петербург – Москва и проведенная теоретическая оценка обеспечения комфорта пассажиров во время поездки позволили выделить по этому параметру три категории пути и определить граничные значения типовых спектральных плотностей между этими категориями. Для практического применения рекомендуется использовать в качестве таких граничных значений величины СКО просадок, рихтовки и неровностей по уровню на длине 1000м.
- Рекомендуется ввести контроль параметров взаимодействия экипажа и пути с помощью диагностической системы, устанавливаемой на головном вагоне или локомотиве высокоскоростного поезда.
- Ограничить величину отвода перекосов до 3.5‰.
- При проведении испытаний определять величину критической скорости возникновения интенсивных колебаний виляния в летнюю сухую погоду.
- Необходим контроль эффективной коничности поверхностей катания рельсов и колес при ограничении ее величиной 0,075 и ограничении величины проката колес до 2,5 мм.
- Величину ползуна следует ограничить для ЧС200 0,5 мм, а для Velaro rus – 0,3 мм.
- Величину ступеньки в стыке следует ограничить до 0,25 мм под нагрузкой.
- Для плавных изолированных неровностей на пути и стрелочном переводе длиной до 2 м глубину неровности следует ограничить до 1 мм.
- Величину пробоксовин на рельсах следует ограничить величиной 0.5 мм для ЧС200 и 0.3 мм для Velaro rus.
- Смятие головки рельса из-за неравномерности механических свойств металла в месте сварного стыка является короткой неровностью и ограничивается величиной 1 мм.
- Выкрашивание металла на поверхности катания длиной более 30 мм ограничивается для Velaro rus величиной 0.25 мм. При длине более 50 мм для ЧС 200 – не более 0.50 мм.