

Совершенствование способов борьбы с вибрацией, генерируемой при движении подвижного состава метрополитена

Вибрации, генерируемые подвижным составом метрополитена

Место измерения или источник информации	16Гц,	31,5 Гц	63 Гц
Серпуховская линия Московского метро, путь на композитных коротышах	69	83	97,5
Депо Красная Пресня, путь на деревянных шпалах	68	73	94
Типовые колебания, согласно СП – 23 105 2004 (отдельно по горизонтальным и вертикальным составляющим)	67	86	84
Замеры, произведенные при проектировании подземного пересадочного узла в Куала Лумпуре (пересчет автора)	82	84	84
Типовые колебания, возбуждаемые метрпоездами по данным ф. Герб (Германия)	68	88	92
Спектр колебаний, измеренный компанией «WS Atkins Consultants» на линии легкой железной дороги в Англии	70	85	90

Допустимые уровни колебаний для жилых помещений

Допустимые уровни вибраций в жилых помещениях по виброскорости, согласно СН 2.2.4/2.1.8.566-96 по горизонтальным и вертикальным составляющим с учетом поправок для непостоянных вибраций	67	67	67
Допустимые уровни вибраций для спальных зон по ИСО 2361 2 версия 2003г (пересчитаны автором)	66	66	66
Допустимые уровни вибраций для спальных зон, согласно стандарту ANSI S3.29/83	66	66	66
Рекомендованные предельные уровни вибраций для жилых помещений, принятые в Дании	69	69	69
Предельные уровни вибрации, принимаемые в Австралии для жилых помещений, согласно Australian Standard AS 2670.2	69	69	69
Допустимые уровни вибраций по стандарту BS 6472 BS 6472 BS 6472 "Guide to Evaluation of Human Exposure to vibration in Buildings"	69	69	69

Особенности условий эксплуатации пути метрополитена

- Обводненность тоннеля и загрязненность лотковой части тоннельной обделки.
- Высокие тяговые токи, которые вызывают в случае утечек электрокоррозию металлических элементов пути и тоннельной обделки и требуют эффективной электроизоляции рельсов.
- Низкая освещенность тоннеля затрудняет контроль за мелкими деталями и расположенными в тени других частей элементами конструкции пути.
- Короткие (2-3 рабочих часа) ночные окна в движении поездов :
 - Требуют поэтапной технологии при монтаже и эксплуатации конструкций верхнего строения пути

- Существенно повышают стоимость эксплуатации, что в свою очередь, требует максимальной надежности и долговечности конструкций и высокой производительности при их монтаже и эксплуатации
- Затрудняют переброску на ремонтируемый участок мото единиц со средствами механизации и инструментальным набором, что требует конструкций пути, эксплуатируемых и ремонтируемых вручную и с минимальным набором инструмента
- Высокие требования к скорости восстановления движения в случае любых неисправностей требуют легкодоступности всех элементов конструкции и обеспечения возможности установок типовых поддерживающих и ремонтных приспособлений (домкратов, струбцин, и т.д.)
- Станционные пути в целях безопасности выполняются с широким водоотводным лотком 900 мм, который обеспечивает возможность упавшему пассажиру пропустить над собой состав. Это требует конструкции пути с малогабаритными в поперечном к оси пути направлении опорами
- Ограничение вертикального прогиба рельса под поездом величиной в 5 мм лимитирует жесткость подрельсового основания

Требования виброзащиты

Максимально прогнозируемое превышение уровня вибраций, генерируемых метрополитеном мелкого заложения, составляет 15 -25 дБ. В диапазоне часто октавных полос 31.5 и 63 Гц. Именно такое снижение вибрации и требуется от разрабатываемых виброзащитных конструкций.

Как следует из главы 4 – согласно и теоретических и практических работ по этому вопросу - для снижения вибраций необходимо максимальное выполнение двух условий :
Снижение жесткости пути для создания виброизолирующего эффекта (в случае снижения жесткости в стыке рельс-шпала к этому добавляется эффект уменьшения вибраций, генерируемых взаимодействием колесо – рельс)

Максимальное увеличение массы подрельсового основания для создания виброизолирующего эффекта

Эти условия очевидно вытекают из формулы определения эффективности системы виброзащиты, как системы с одной степенью свободы:

$$N = F/F_0$$

Где:

N – Коэффициент виброизоляции

F – Частота вынужденных колебаний рельса

F₀ – Частота собственных колебаний ВСП

При этом:

$$F_0 = 1/2 \pi \sqrt{C/M}$$

Где C - динамическая жесткость упругих элементов (УЭ), на которых подвешено ВСП.

M- масса частей ВСП расположенных над УЭ

Технические противоречия

Возникающие технические противоречия могут быть кратко сформулированы следующим образом.

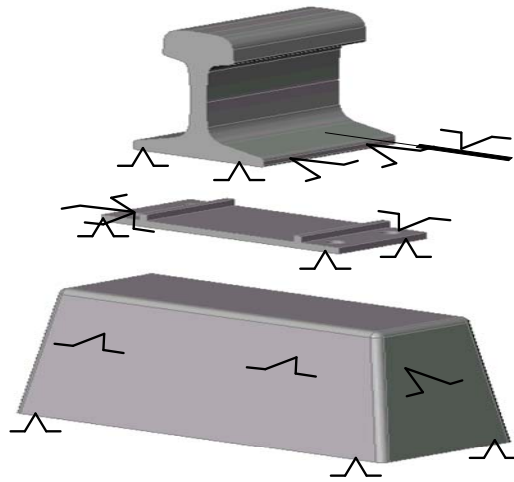
- Конструкция, подвешенная на УЭ должна быть массивной, но при этом :
массивность конструкции, достигаемая наращиванием объема упруго подвешенной части (поскольку сверхтяжелые материалы дороги и подвержены высокой коррозии), не должна мешать устройству на станции широкого лотка безопасности
объемные конструкции закрывают собой упругие элементы, которые в то же время должны быть доступны для замены и контроля
будучи массивной, конструкция должна при этом монтироваться и демонтироваться без малой механизации

- Динамическая жесткость ВСП по вертикали должна быть минимальной но при этом:
упруго подвешенные элементы ВСП, свободно перемещаясь по вертикали, должны быть ограничены в перемещениях вдоль горизонтальных осей, то есть - перемещаться по каким- то направляющим, обеспечивающим ширину колеи и ее расположение относительно тоннеля.

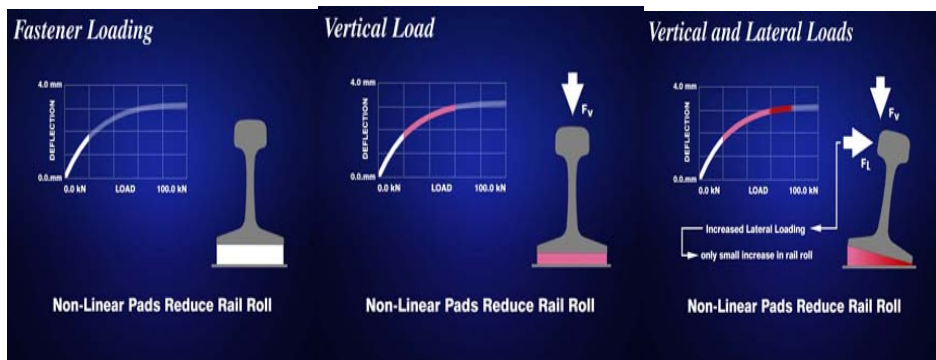
Эти большие перемещения, к тому же осуществляемые с высокой интенсивностью (до 4 000 000 раз в год), приводят к износу направляющих, по которым перемещаются подвешенные элементы ВСП

Таким образом, сформулированы противоречия, разрешение которых позволит создать конструкцию ВСП - максимально эффективную и с точки зрения виброзащиты, и с точки зрения эксплуатации. Рассмотрению вариантов их разрешения посвящен следующий раздел.

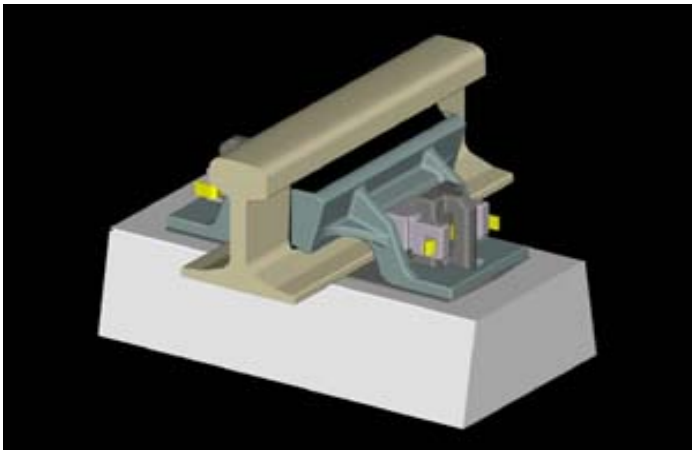
Традиционная схема базирования элементов ВСП



Последствия смягчения баз 1го типа

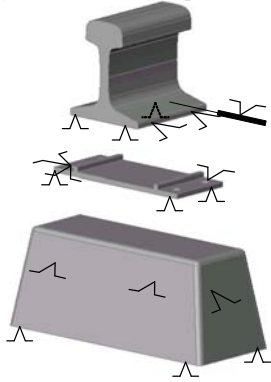


Скрепление Вангард как пример новых подходов к базированию

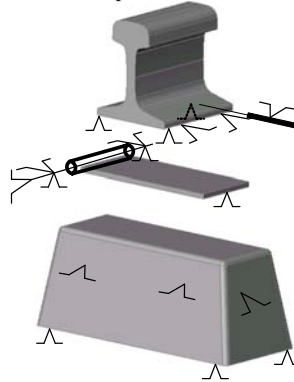


Новая схема базирования

а) Существующая схема базирования



б) Новая схема базирования

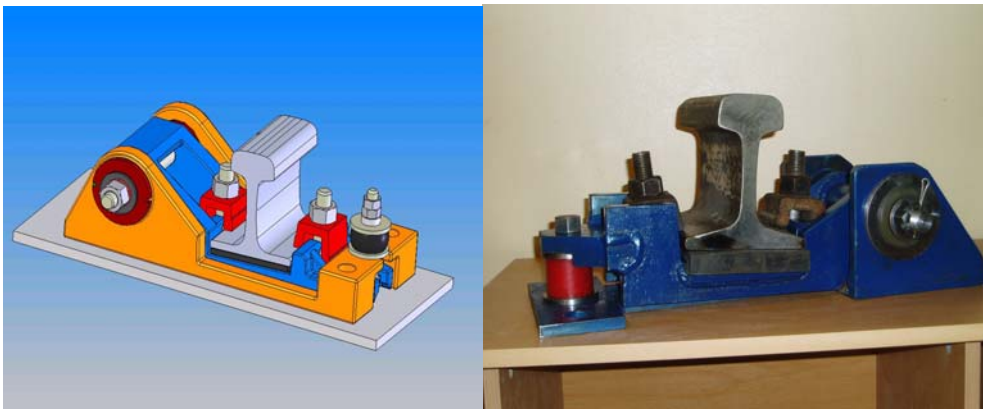




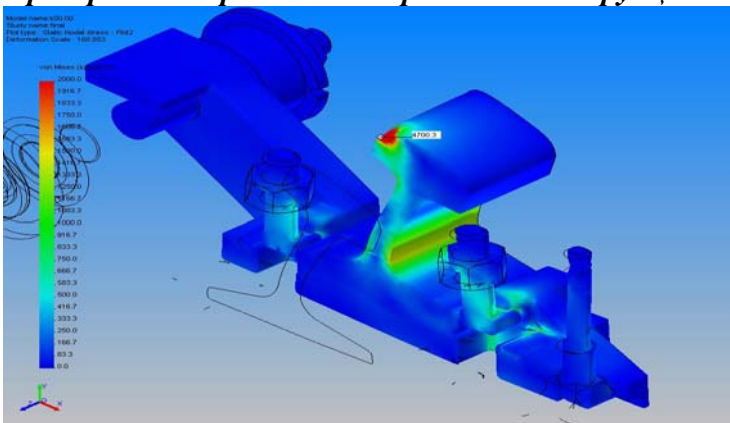
Параметры конструкции оптимальной с точки зрения эксплуатации и виброзащиты

- Легкая, одноступенчатая, с нелинейным УЭ, расположенным рядом с рельсом с наружной стороны колеи, выполненным в виде полимерной пружины с возможностью добавления в конструкцию демпфера.
- В целях компенсации потери эффективности, связанной с небольшой массой конструкции, в ней необходимо обеспечить возможность полного использования допустимого, прогиба рельса в 5 мм, что требует жесткости скрепления 4000 Н/мм в вертикальном направлении. В горизонтальном поперечном направлении жесткость скрепления - 25 Кн/мм. В продольном направлении усилие сдвига рельса должно составлять 600 кг, как это регламентируется для типовых скреплений в конструкциях ВСП, не предусматривающих применения противоугонов.

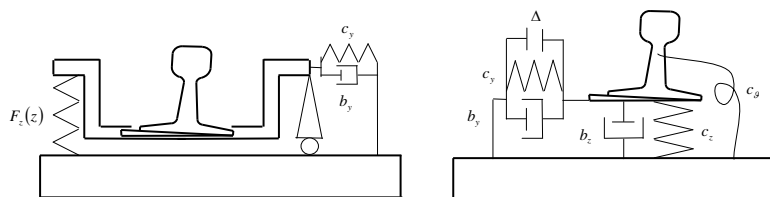
Компоновки конструкции



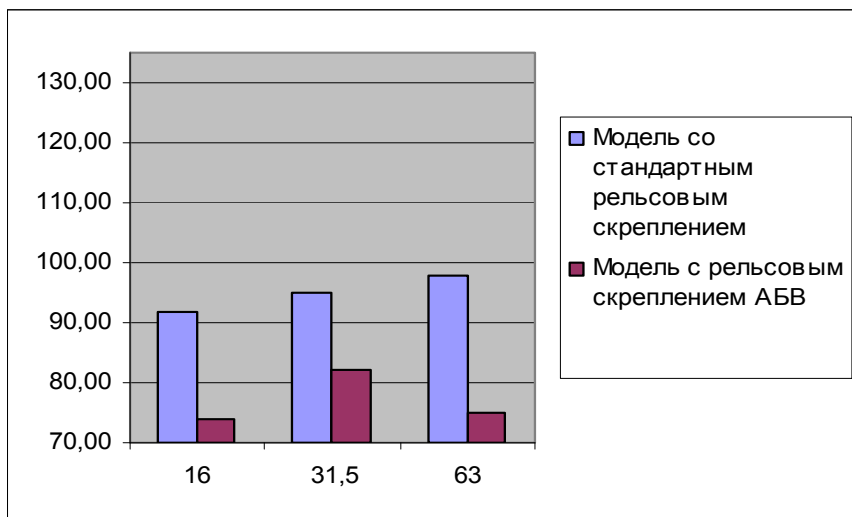
Проверочный прочностной расчет конструкции



Расчетные схемы нового и типового крепления



Расчетные колебания шпалы



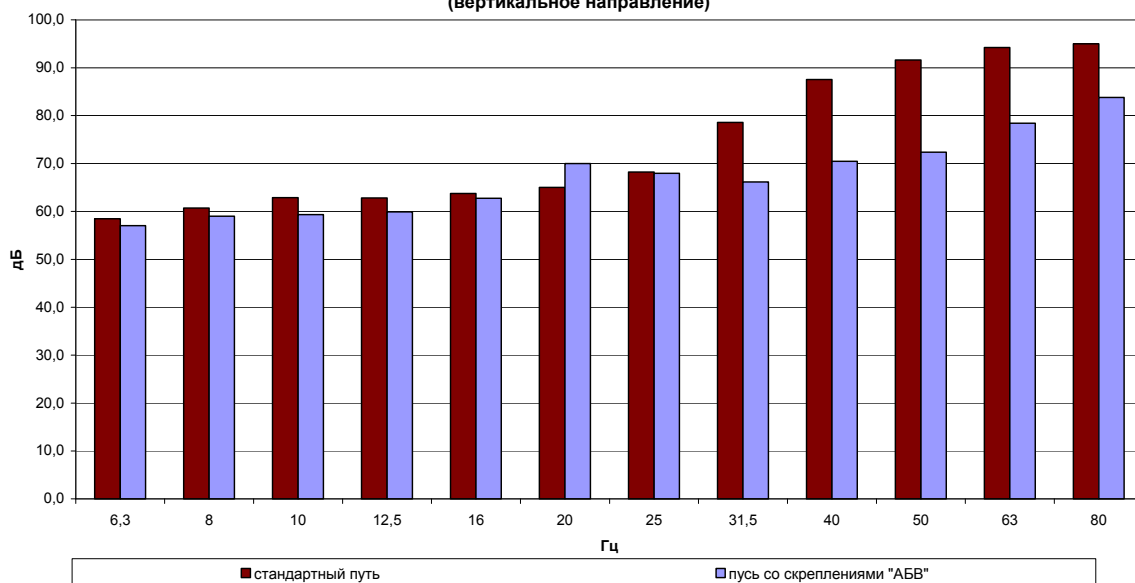
Вертикальные колебания шпалы

Измерения на опытном участке



Результаты измерений на опытном участке

Уровни виброускорения на путевом бетоне, дБ,
в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц
(вертикальное направление)



Результаты замеров с оценкой эффективности

Параметр колебаний тоннельной конструкции	Октава, Гц			
	8	16	31,5	63
Результирующий уровень колебаний лотковой части обделки тоннеля в точке 4	82,1	79,3	82,9	99,9
Результирующий уровень колебаний лотковой части обделки тоннеля в точке 1	65,4	69,0	73,3	87,0
Результирующий уровень колебаний лотковой части обделки тоннеля в точке 2	64,4	70,6	73,0	86,4
Эффективность виброзащиты пути со скреплениями "АБВ" на путевом бетоне в центре виброзащитного участка (по точке 1)	16,7	10,3	9,6	12,9
Эффективность виброзащиты пути со скреплениями "АБВ" на путевом бетоне на краю виброзащитного участка (по точке 2)	17,7	8,7	9,9	13,5

Эффективность виброизоляции пути с рельсовыми скреплениями "АБВ", оцененная по результирующей колебаний лотковой части тоннеля, составила:

в октаве 8 Гц – 16 - 17 дБ; в октаве 16 Гц – 9 - 10 дБ; в октаве 31,5 Гц – 10 дБ; в октаве 63 Гц – 13 дБ

Сравнение цены и эффективности различных вариантов виброзащитных конструкций пути

Наименование виброзащитной конструкции	Источник	Цена согласно источнику	Переводной коэффициент	Цена на сентябрь 2004г	Измеренная эффективность на путевом бетоне дБ			Цена пути для Музея частных коллекций 325 м
					16 Гц	31 Гц	63 Гц	
Лежневая конструкция на опытном участке 50м	Договор от 1999г	1 814 400	5	9 070 000	6,1	5,6	3,9	58 995 000 Не включая установку
Лежневая конструкция при новом строительстве за 1 км пути	Данные предоставленные Казанскому метрополитену 2004г	41 000 000	1	41 000 000	6,1	5,6	3,9	13 325 000
Виброзащитная конструкция НТЦ «Вибросейсмозащита» для Музея частных коллекций–325 м	Локальная смета №СОР 52-27-ПЖ-ОМ16 В ценах 1984г	467 500	39	18 232 500	0	8	15	18 232 500
Конструкция НТЦ «Вибросейсмозащита» для Таганско Краснопресненской линии–280 м.	Смета №ТРК -44-2-ПЖ.СМ1 В ценах 1998 г	12 635 960	5.5	69 497 780	-3	11	21	80 667 063
Конструкция Виброизолирующим скреплением АБВ для Музея частных коллекций–325 м	Договор от 2004г.	8 751 600	1	8 751 600	9	10	13	7 727 828 Не включая установку

Результаты работы

- 1. Анализ существующих конструкций верхнего строения пути и методов их создания показал, что существует ряд технических противоречий, не позволяющих оптимизировать соотношение их виброзащитных и эксплуатационных свойств. В связи с этим назрела необходимость создания нового подхода к созданию виброзащитных конструкций

- 2. На основе поэлементного рассмотрения конструкции ВСП определены основные источники технических противоречий, связанные с традиционным базированием элементов верхнего строения пути и разработана новая схема базирования всех элементов ВСП, открывающая перспективные возможности для конструирования.
- 3. Проведена классификация виброзащитных конструкций пути и выбраны эталонные функциональные параметры виброзащитной конструкции ВСП метрополитена с одновременным учетом требований виброзащиты и требований эксплуатации, определены ее качественные и количественные параметры.
- 4. Разработана опытная конструкция виброзащитного рельсового скрепления. Проведены прогнозные расчеты ее эффективности, ее стендовые и полигонные испытания, подтвердившие высокую эффективность принятых конструкторских решений и достоверность методик прогнозных расчетов.
- 5. Новая конструкция внедрена на участке Московского метрополитена, проходящем под Музеем частных коллекций. Она обеспечила снижение вибраций в помещениях музея на 10-12 дБ., тем самым осуществив соблюдение там регламентируемых санитарных норм.