

ВИБРОЗАЩИТНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ВЕРХНЕГО СТРОЕНИЯ ПУТИ ДЛЯ МЕТРОПОЛИТЕНОВ г. КАЗАНИ

Е. Ю. Титов, Е. А. Пестрякова

*Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ),
г. Москва (Россия)*

Опыт эксплуатации зданий вблизи трасс метрополитена в Москве и других городах показывает, что в зданиях, расположенных на расстояниях от тоннельной обделки меньших 40 метров, уровни вибраций, возникающие при движении поездов, превышают допустимые санитарными нормами.

Кроме того, вибрации пути в процессе эксплуатации могут привести к опасным деформациям сборной железобетонной обделки и зданий и сооружений, находящихся вблизи от линии метрополитена.

Трасса первой очереди метрополитена г. Казани в значительной степени расположена в сложных геологических и гидрогеологических условиях, в слабых водонасыщенных грунтах, перегонные тоннели пересекают неустойчивые водонасыщенные грунты (пески, супеси, суглинки, доломиты, песчаники и др.), залегающие на значительную глубину ниже тоннельной обделки. Почти на всех участках гидростатическое давление составляет от 0,1 до 0,3 МПа (кроме участка от ст. «Аметьево» до ст. «Горки»).

Трасса тоннелей проходит, в основном, вдоль магистральных улиц г. Казани при глубине заложения от 10 до 30 м. Вдоль трассы расположены капитальные здания на расстоянии (в плане) от 0 до 6 м, считая от наружного контура тоннельной обделки.

Поэтому, проведя прогнозирование уровней вибраций грунта от строящегося метрополитена, было принято решение о необходимости выбрать оптимальную конструкцию верхнего строения, в наибольшей мере ослабляющую вибрации, передающиеся на тоннельную обделку.

Обзор виброизолирующих конструкций верхнего строения пути, используемых для метрополитенов в различных странах, позволяет сделать вывод о том, что наиболее эффективные решения связаны с акустическим разъединением конструкции пути и основания тоннельной обделки резинопolyмерными (эластомерными) виброизоляторами.

Выбор конструкции виброзащитного пути должен осуществляться на основе определения уровней вибраций в конкретных условиях и их превышения над санитарными нормами. Для этого было предложено шесть вариантов конструкций верхнего строения пути приведенных ниже на рис. 1–6.

ВАРИАНТ 1

Конструкция ВСП с деревянными шпалами с подрельсовыми нащпальными прокладками повышенной упругости

Поперечный профиль пути с рельсами типа Р65 на деревянных шпалах в туннеле внутренним диаметром 5100 мм с железобетонной обделкой на прямом участке и на кривой без возвышения наружного рельса и при отсутствии переходной кривой

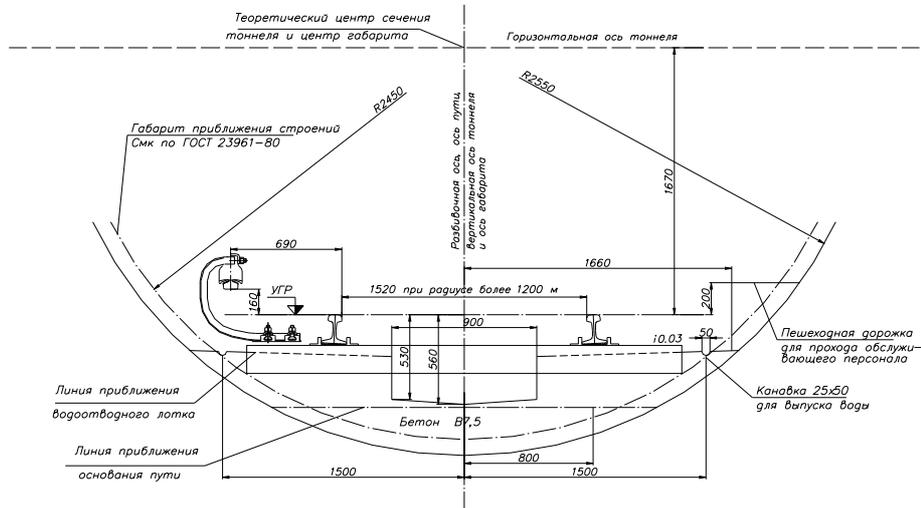


Рис. 1. Типовая конструкция пути с деревянными шпалами

ВАРИАНТ 2

Типовая конструкция ВСП с деревянными шпалами и виброизолирующими матами

Поперечный профиль пути с рельсами типа Р65 на деревянных шпалах в туннеле внутренним диаметром 5100 мм с железобетонной обделкой на прямом участке и на кривой без возвышения наружного рельса и при отсутствии переходной кривой

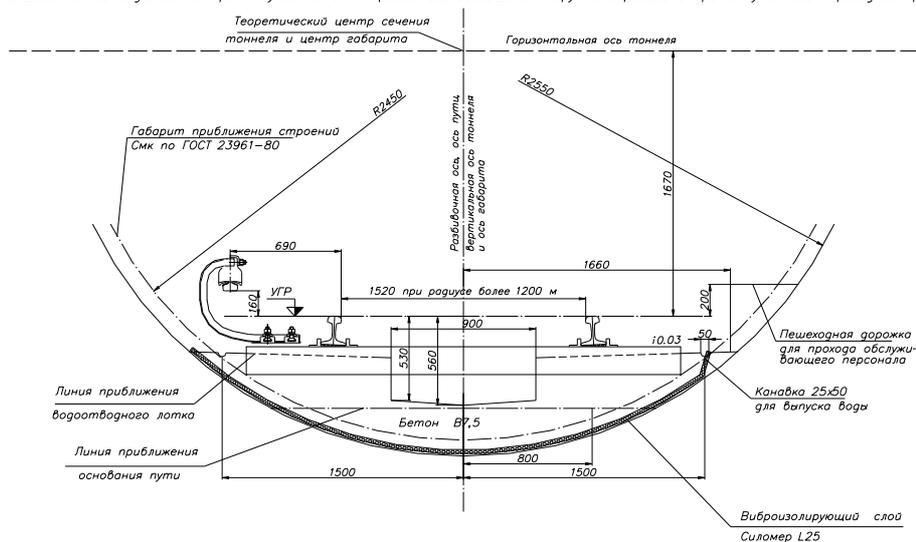


Рис. 2. Конструкция пути с композитными шпалами и виброизолирующим матом, уложенным на тоннельную обделку

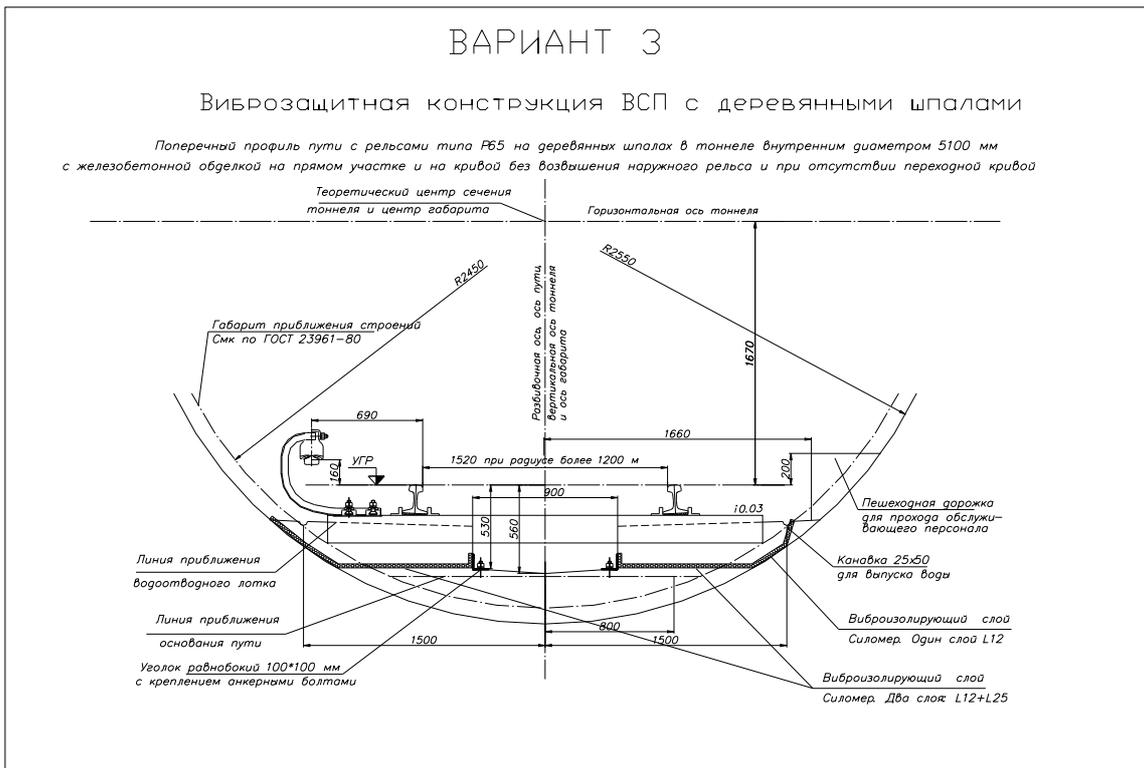


Рис. 3. Конструкция с виброизолирующим матом, уложенным под путевым бетоном с деревянными шпалами

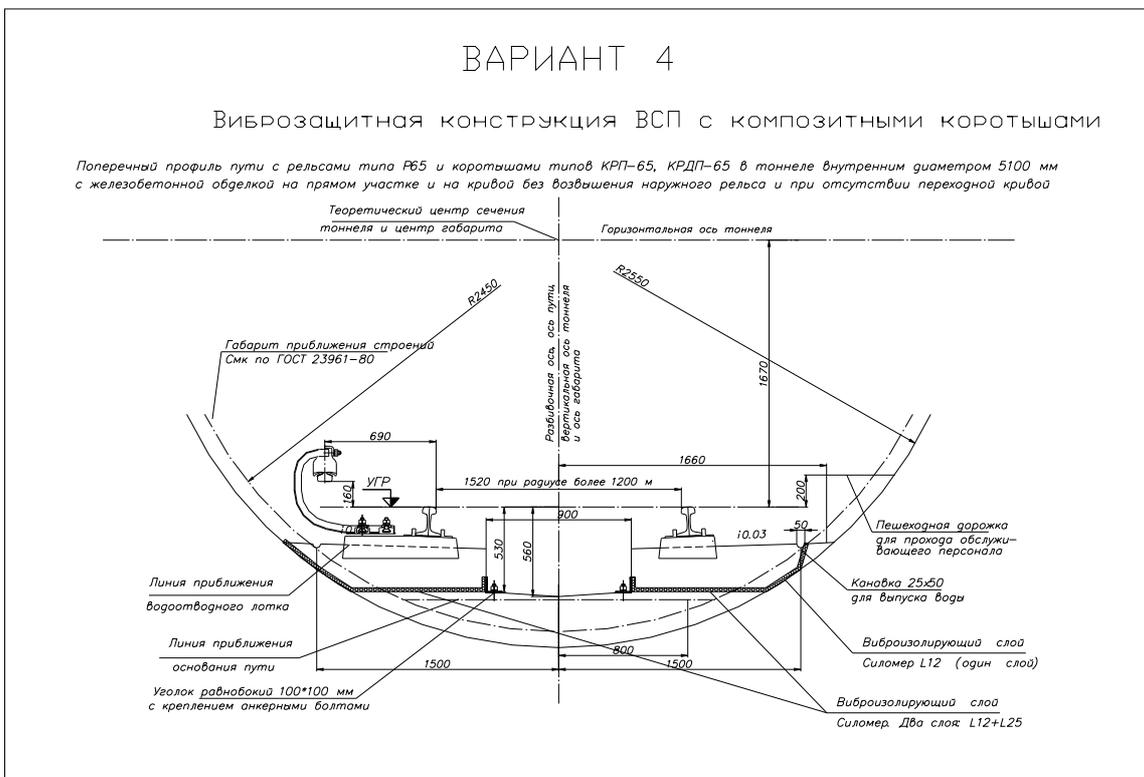


Рис. 4. Конструкция пути с композитными коротышами и виброизолирующим матом, уложенным под путевым бетоном

ВАРИАНТ 5

Виброзащитная конструкция ВСП на лежнях

Поперечный профиль пути с рельсами типа Р65 на лежнях в тоннеле внутренним диаметром 5100 мм с железобетонной обделкой на прямом участке и на кривой без возвышения наружного рельса и при отсутствии переходной кривой

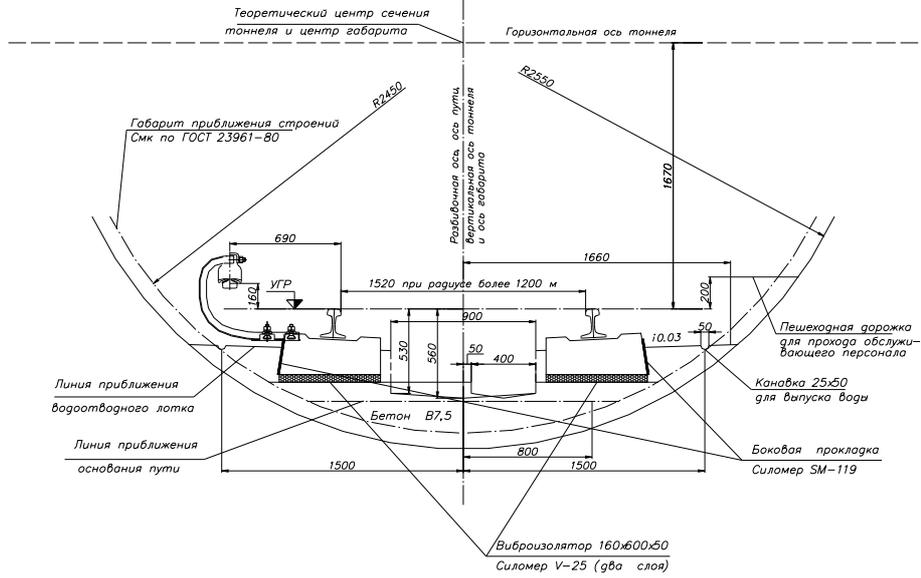


Рис. 5. Конструкция пути на лежнях

ВАРИАНТ 6

Виброзащитная конструкция ВСП с железобетонными шпалами-коротышами

Поперечный профиль пути с рельсами типа Р65 на железобетонных шпалах-коротышах в тоннеле внутренним диаметром 5100 мм с железобетонной обделкой на прямом участке и на кривой без возвышения наружного рельса и при отсутствии переходной кривой

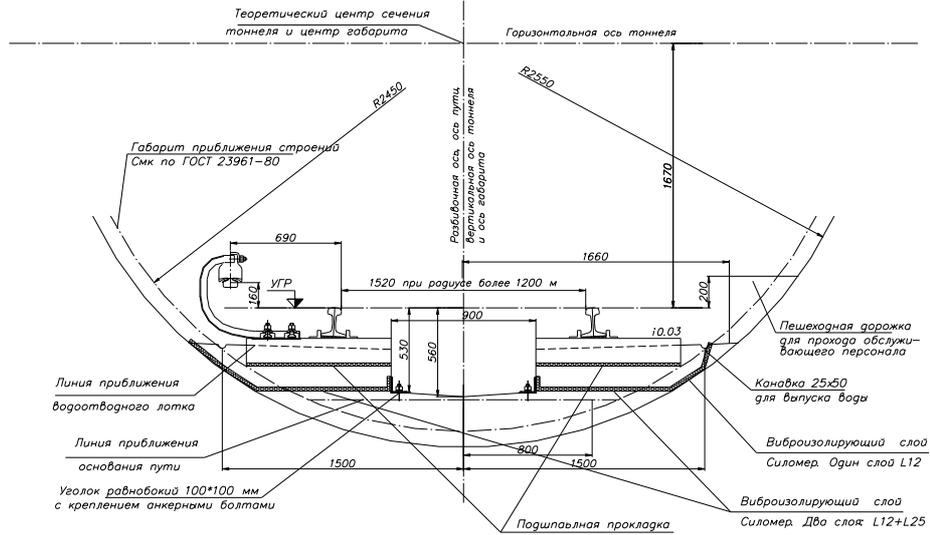


Рис. 6. Конструкция пути с железобетонными шпалами – коротышами

Для оценки эффективности виброизолирующих свойств конструкции верхнего строения пути с различными упругими элементами во многих странах (Германия, Австрия, Англия и др.) наряду со сложными моделями используются упрощенные системы с одной степенью свободы – «масса+пружина». Собственные частоты таких моделей определяются по формуле:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c'}{m}} = \frac{1}{T} \quad (1)$$

где c' – динамическая жесткость эквивалентной пружины.

Для конструкций с упругими матами динамическую жесткость можно вычислять, используя формулу:

$$c' = \frac{E'A}{d} \quad (2)$$

Тогда собственная частота может быть получена из выражения:

$$f_0 = 15,76 \sqrt{\frac{E'}{d\sigma}} \quad (3)$$

где E' – динамический модуль (Н/м^2), A – площадь поверхности нагружения (м^2), d – толщина слоя (м), σ – поверхностное давление от собственного веса колеблющейся массы (Н/мм^2).

Эффективность уменьшения динамического воздействия можно оценить по формуле:

$$K = 20 \log \sqrt{\frac{1 + \eta^2}{(1 - (\frac{f}{f_0})^2)^2 + \eta^2}} \quad (4)$$

где η – относительный коэффициент демпфирования, f_0 – собственная частота колебаний неподрессоренной массы и присоединенной массы конструкций верхнего строения пути, f – частота вынужденных колебаний.

Коэффициент передачи вибраций K , представленный в виде логарифма отношения амплитуд колебаний в децибелах. Коэффициент передачи вибраций показывает во сколько раз уровень вибраций одного элемента конструкции меньше или больше уровня вибраций другого. Используя коэффициент передачи вибрации, можно оценить эффективность работы, как отдельных элементов конструкции, так и всей конструкции в целом. В данном случае определялся коэффициент передачи колебаний с рельса на тоннельную обделку.

Реализуемые собственные частоты для различных типов конструкций верхнего строения пути определяются следующими неравенствами:

- конструкция пути с упругими подрельсовыми и нащпальными прокладками: $f_0 \geq 35$ Гц,
- конструкция пути с упругими подщпальными прокладками: $f_0 \geq 25$ Гц,
- конструкция пути с подбалластными матами: $f_0 \geq 15$ Гц,

- конструкция пути с дополнительной массой (плитой) на упругих опорах: $f_0 \geq 6$ Гц.

В соответствии с этим на рис. 7 представлены кривые эффективности для предложенных конструкций пути.

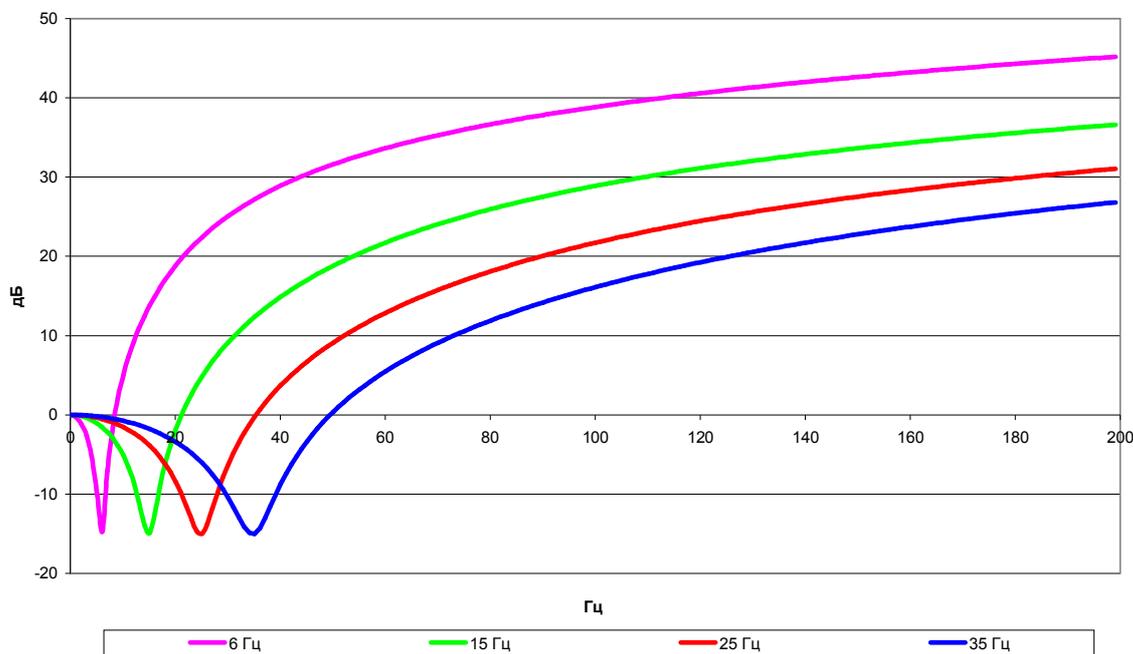


Рис. 7. Кривые эффективности для предлагаемых конструкций верхнего строения пути при коэффициенте демпфирования $\eta = 0,18$ с разными собственными частотами

При выборе вариантов в каждом конкретном случае требуется принимать во внимание степень необходимости виброзащиты и экономические аспекты, так как стоимость виброзащитных матов достаточно высока.

Анализ зарубежного и отечественного опыта виброзащиты показывает, что наиболее эффективными конструкциями верхнего строения пути с точки зрения ослабления вибраций, передающихся на тоннельную обделку, являются конструкции, смонтированные на массивных железобетонных плитах, установленных на точечных опорах. В этом случае можно достичь наименьшей собственной частоты колебаний конструкции, приблизительно равной 6 Гц. В этом случае положительный эффект достигается на частотах, начиная с 10 Гц и выше.

Несколько меньший эффект достигается, если массивные железобетонные плиты опираются на ленточные опоры или сплошные маты.

Для инженерно-геологических условий, в которых производится строительство метрополитена в Казани, и типа используемой тоннельной обделки считаем более приемлемыми опирание плит на ленты или сплошные маты. Такие конструкции более равномерно распределяют давление на кольца тоннельной обделки. Поэтому конструкции с точечными опираниями плит непосредственно на тоннельную обделку не рассматриваются.