

СПОСОБЫ УЛУЧШЕНИЯ ВИБРОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ КОНСТРУКЦИЙ ВЕРХНЕГО СТРОЕНИЯ ПУТИ

Статьяда көрсөтүлгөндөй, балластык катмарга берилүүчү вибрацины өмөндөтүүдөгү жогорку эффектке шпалдын алдына серпилгич прокладканы койуу менен жетсе болот.

В статье показано, что наибольшего эффекта для снижения вибраций, передающихся на балластный слой, можно добиться за счет укладки упругих прокладок под шпалы .

In this article is given the greatest effect for reducing of the vibration that transferring to ballast layer which could be achieved by the elastic spacers' string sleepers.

Наиболее эффективные решения связаны с разъединением элементов конструкции пути и основания резинополимерными (эластомерными) виброизоляторами. Перечислим основные способы, позволяющие улучшить упругие и демпфирующие свойства конструкций верхнего строения пути:

- установка подрельсовых подкладок повышенной упругости;
- установка нашпальных прокладок повышенной упругости под рельсовыми подкладками;
- установка подшпальных прокладок;
- укладка подбалластных матов;
- возможна комбинация этих способов.

В странах Европы получили широкое распространение виброзащитные конструкции пути, где в качестве упругих элементов применяются полимерные подрельсовые прокладки, нашпальные прокладки, подшпальные прокладки и подбалластные маты, выполненные из материала Sylomer (синтетическая вспененная резина). В Австрии и Германии проведена серия испытаний эффективности таких конструкций. В частности, были проведены замеры колебаний в тоннелях вблизи концертного зала в Мюнхене /1/.

Для расчета ослабления ΔL уровня вибраций подбалластным матом ими предложена формула

$$\Delta L_e = 20 \lg \left| 1 + \frac{\frac{S_s}{S_M}}{1 - \left(\frac{f_0}{f}\right)^2} \right| \text{дБ},$$

(1)

где $s_M = s_M'' \cdot S_M (1 + i d_M)$ – жесткость эквивалентной пружины; s_M'' – динамическая жесткость подбалластного мата; d_M – тангенс угла потерь материала, из которого выполнен подбалластный мат; S_M – эффективная площадь, на которую распределяется давление балласта, определяемая из условия конического распределения давления; i – мнимая единица; S_s – жесткость балластного слоя; f – частота вибраций; f_0 – резонансная частота, которая для обычного пути с рельсо-шпальной решёткой при жёсткости балластного слоя – S_s и неподрессоренной массой M определяется по формуле

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{S_s}{M}}.$$

(2)

Кривая эффективности конструкций пути, описываемых системой с одной степенью свободы, имеет вид, представленный на рис. 1, она хорошо согласуется с экспериментальными данными.

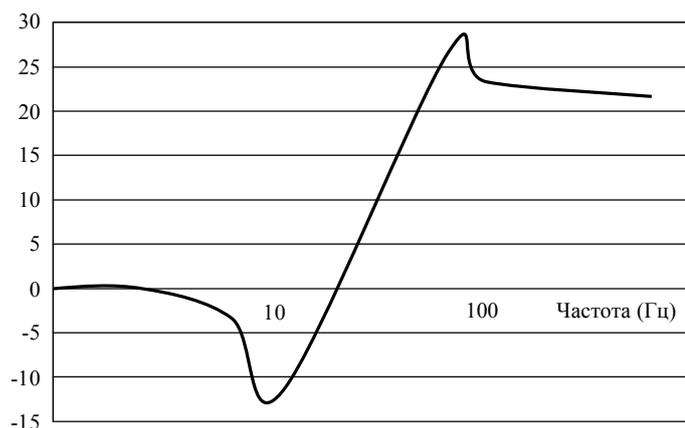


Рис. Кривая эффективности виброзащитной конструкции верхнего строения пути

На низких частотах вплоть до частоты, определяемой выражением $f \leq \sqrt{2}f_0$, наблюдается отрицательный эффект, поэтому, чем ниже собственная частота конструкции, тем лучше ее эффективность с точки зрения виброзащиты. Анализ зарубежного и отечественного опыта позволяет дать следующие оценки реализуемых собственных частот для различных конструкций верхнего строения пути:

- 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.

Собственная частота прокладки определяется по статическому перемещению Δ под нагрузкой P_u , приходящейся на одну прокладку:

$$\Delta = \frac{P_u}{C_z} \text{ и } f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{\Delta}}, \quad (3)$$

где g – ускорение свободного падения.

В стандартах некоторых стран рекомендуется выбирать опоры таким образом, чтобы относительная деформация резиновых опор составила 0,015 при воздействии рабочей нагрузки. Тогда $\Delta l = 0,0015h$, где h – высота слоя резины в опоре. Для рабочих нагрузок P_i :

$$\Delta l = \frac{P_i}{C_z} \text{ и } f_l = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{\Delta_i}}.$$

Для повышения эффективности бесстыкового пути с железобетонными шпалами и щебёночным балластом в гашении вибраций, возбуждаемых проходящим подвижным составом, вертикальная жесткость креплений не должна превышать 100 МН/м.

Допускаемые максимальные деформации резины при сдвиге γ .

Допускаемые деформации резины при сдвиге – важная характеристика резиновых опор. Опоры, используемые в качестве виброизоляторов, должны выдерживать сдвиговые деформации от собственного веса конструкции и перемещения от динамических воздействий. Приемлемые постоянные деформации сдвига в соответствии со стандартом Bridge Engineer Standards /2/ определяются формулой

$$\gamma_w = 0,2\varepsilon, \quad (4)$$

где ε_l – кратковременная деформация разрушения при простом растяжении. На основании анализа зарубежных рекомендаций и отечественных стандартов можно принять, что допускаемая деформация сдвига определяется по формуле

$$\tan\gamma = 0,7.$$

(5)

Следовательно, расчетная формула имеет вид:

$$\frac{\text{перемещение}}{\text{толщина резины } h} = \tan\gamma = 0,7.$$

Для прокладки толщиной 10 мм поперечное перемещение не должно превышать 7 мм.

Экспериментальные исследования, выполненные во ВНИИЖТе, показали, что вибрации рельсов, шпал и балласта возникают под проходящими поездами вследствие наличия стыков между рельсами, неровностей на колесах и рельсах. При увеличении скоростей и жесткости подрельсового основания вибрационное воздействие на путь увеличивается /3-4/.

Вибрации играют значительную роль в накоплении остаточных осадок пути, особенно на участках с железобетонными шпалами.

Под воздействием вибрационной нагрузки наблюдается ослабление болтовых соединений. Выправка пути по уровню и подтягивание ослабевших болтов на пути с железобетонными шпалами занимают до 80 % рабочего времени путевых бригад. Отсюда следует, что уменьшение вибраций подрельсового основания путем виброизоляции – важный резерв повышения эффективности использования железобетонных шпал.

Из всех элементов пути наиболее интенсивным вибрациям подвергается рельс. По мере удаления от точки соударения колеса с рельсом вибрации затухают. Ускорения шпалы в несколько раз меньше, чем ускорения рельса. Шпале передается некоторая доля ускорений рельса:

$$K_{pш} = \frac{j_{ш}}{j_p},$$

(6)

где j_p и $j_{ш}$ – ускорения соответственно рельса и шпалы. По данным /5/ $K_{pш} = 0,13-0,17$.

Характерно, что, несмотря на существенное различие в величинах ускорений, в различных опытах значения $K_{pш}$ примерно одинаковы. Значит, этот коэффициент отражает некоторое свойство пути как механической системы при воздействии на него ударной нагрузки разной интенсивности, а именно, он показывает, насколько

чувствительна шпала к вибрациям колеса при ударных нагрузках. Чем меньше коэффициент K_{pm} , тем менее чувствительна шпала к вибрациям рельса.

Значительное уменьшение ускорений шпал по сравнению с ускорениями рельса объясняется рядом причин. Во-первых, погонная масса шпал в 4 раза больше массы рельса, а во-вторых, на соотношении величин ускорений рельса и шпалы сказывается амортизирующая роль креплений. При ударе колеса о рельс в последнем возникают колебания, характеризуемые широким диапазоном частот. Высокочастотные колебания рельса не имеют достаточно энергии для того, чтобы вызвать подобные колебания шпал. Отсутствие в сложных колебаниях шпалы высокочастотных составляющих влечет за собой уменьшение ускорений.

Ускорения рельсов, шпал и балласта в зоне стыка зависят от скорости подвижного состава. При изменении скорости от 25 до 70 км/ч ускорение шпалы увеличивается в 3 раза.

Железнодорожный путь под воздействием динамических сил не колеблется как одно целое. Рельс, шпалы, балласт и земляное полотно совершают вынужденные колебания под воздействием этих сил и свободные затухающие колебания под действием сил упругости и трения. Колебания разных элементов складываются, интерферируют, в результате чего возникает сложный колебательный процесс. Для практических целей важно знать, какие элементы пути более всего подвержены вибрации, от каких вибраций следует изолировать подрельсовое основание и какие из них являются небольшими и опасности не представляют. Ответы на эти вопросы дает спектральный анализ колебаний, с помощью которого можно обнаружить преобладающие вибрации в сложном процессе.

В работе /3/ выполнен спектральный анализ на ЭВМ свободных колебаний рельса и шпалы, возбуждаемых взаимодействием колеса и рельса в стыке.

Полученные спектрограммы позволяют установить особенности вибраций рельса и шпалы. На спектрограмме колебаний рельса видны области, характеризуемые пиковыми значениями плотности спектра ускорений. Максимальные ускорения приходятся на частоты 230–400 и 700–1050 Гц.

Максимальная плотность спектра ускорений колебаний шпалы при отсутствии подрельсовых прокладок в креплении достигает наибольших значений в диапазоне частот 200–400 Гц. Затем на спектрограмме виден пик на частоте 700 Гц. При более высоких частотах пик не наблюдается, а гармониками с частотой более 800 Гц практически можно пренебречь.

Отсюда можно сделать вывод о том, что энергия колебаний рельса с частотой более 500 Гц не столь велика, чтобы вызывать такие же колебания шпалы.

Кроме того, на этих частотах, возможно, проявляется амортизирующая способность типовых резиновых прокладок. Таким образом, вибрации рельса имеют частоту до 2000–2100 Гц, а вибрации шпалы – 700–800 Гц.

Поскольку основной причиной вибрации пути являются неровности и стыки рельсовых нитей, то наиболее эффективными мероприятиями по борьбе с вибрациями будут те, которые направлены на создание пути без стыков и неровностей. К таким мероприятиям относятся внедрение бесстыкового пути и шлифовка рельсов. Для оценки вибрационных свойств промежуточных креплений используют коэффициент передачи $K(\omega)$, который является функцией частоты ω . При малых частотах вибрации $K(\omega)$ имеет наибольшие значения, с увеличением частоты уменьшается. Убывание $K(\omega)$ указывает на то, что мощность колебаний падает и они не передаются на основание рельса. Зависимость коэффициента передачи от частоты (рис. 2) при прокладках повышенной упругости имеет тот же вид, что и при типовых креплениях: $K(\omega)$ убывает с ростом частоты, но величина его значительно уменьшается.

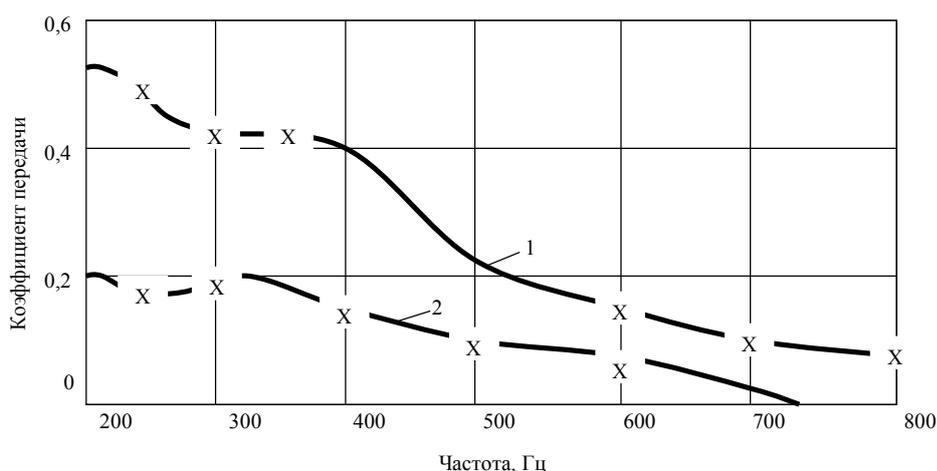


Рис. 2. Коэффициенты передачи ускорений от рельса к шпале при креплениях:
1 – типовое верхнее строение; 2 – верхнее строение

Однако наибольшего эффекта для снижения вибраций, передающихся на балластный слой, можно добиться за счет укладки упругих прокладок под шпалы.

Список литературы

1. Muller H.A., Opitz U. and Volberg G.' Structure-born sound transmission from the tubes of subway into a building for a concert hall, Proceedings Internoise' 80. – Miami, 1980. – Vol. 11. – P. 715–718.
2. Технические условия и работы по ремонту и планово-предупредительной выправке пути / ОАО «РЖД». – М.: Академкнига, 2004. – 182 с.
3. Нусупбеков С.И. Влияние жесткости рельсовых скреплений на работоспособность прокладок // Новости науки Казахстана: науч.-техн. сб. / КазНЦНТИ. – Алматы, 2008. – Вып. 2 (97). – С. 94–100.
4. Омаров А.Д., Нусупбеков С.И. Оценка надежности рельсовых скреплений // Вестн. инженер. акад. Рос. Федерации. – Алматы, 2008. – № 2 (28). – С. 93–97.
5. Программа развития железнодорожного транспорта Республики Казахстан на 1999–2003 г. – Астана, 1999. – 35 с.