

# ТРАНСПОРТ

УДК625.143.03

МРНТИ 73.29.11

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВИБРОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ВЕРХНЕГО СТРОЕНИЯ ПУТИ

С. К. Исакова, к.т.н.

Казахская академия транспорта и коммуникаций  
им. М. Тынышпаева

Ма^алада жолдьщ эр *гургі* жогаргы курылымынын д1ршден i^орғау ^асиетыц ти1м-дш)гше баға бершген. Созылмалы тесемдеп шпалдармен бершген жолдыц жс^аргы цурылымына арналган дйршкозгалыстыц кушт! жылжитатын коэффициент! б1рден темен болып, flirpmfli шектейтж касиеттер'жн жак;сы және он ти1мд1лжге ие болатыны керсеттген.

Туйшд! сездер: цурылымыньщ д1ршден Корғау касиеттер<, шпалдар, рельст! жолдар.

The assessment of efficiency of vibroprotective properties of various designs of permanent way is given. The permanent way structure with sleepers on expansion and sticky cushions having transfer constant of force less than unit and good vibration insulation properties is proposed.

Key words: vibroprotective properties of structures, sleepers, railways.

В настоящее время большое внимание уделяется исследованиям конструкций верхнего строения пути с улучшенными упругими и демпфирующими свойствами. Целью данного исследования является создание конструкций, уменьшающих вибрации, передающиеся на элементы конструкции сооружений и здания, расположенные вблизи тоннелей и железнодорожных трасс.

Для оценки эффективности виброзащитных свойств различных конструкций верхнего строения пути определим коэффициент передачи вибраций с рельса на тоннельную обделку, воспользовавшись моделями с конечным числом степеней свободы. Для модели с одной степенью свободы коэффициент передачи вибраций и силы определяется выражением:

$$V[1-(\omega/v)^2 F + 4f\omega/v]^2$$

Для системы с двумя степенями свободы коэффициент передачи силы можно найти, используя уравнение:

$$A_p(\omega) A_0(\omega) - \kappa_p^2 A_0(\omega) = \dots$$

где  $A_p(\omega) = -A/v^2 - i\alpha r_p + K_p$ .

С целью определения коэффициента передачи силы для конструкции верхнего строения пути со шпалами, замоналиченными в путевой бетон, применим преобразование Фурье по переменным  $x$  и  $t$  к уравнению:

$$E_p I_p \frac{\partial^4 u}{\partial x^4} + m_p \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + r \frac{du}{dx} - \frac{d^2 u}{dt^2} + K u = P e^{i(\omega t - vx)}$$

описывающему колебания рельса при движении по нему гармонической силы с постоянной скоростью  $v$ :

$$A_p [E_p I_p v^4 - m_p \omega^2 - i\omega r_p + K_p] = P [A_0 - K_p] \dots$$

Для определения интегральной силы давления рельса на путевой бетон найдем обратное преобразование Фурье функции  $U_p(y, \omega)$  по переменной  $\omega$  и положим  $v = 0$ . Действительно,

$$U_p(x, t) = \int_{-\infty}^{+\infty} U_p(x, \omega) e^{i\omega t} d\omega$$

Из выражения:

$$\langle M, U_p(x, t) \rangle = \dots$$

при  $v = 0$  имеем

$$M(x, t) = \int_{-\infty}^{+\infty} u(x, \omega) e^{i\omega t} d\omega$$

Опуская промежуточные выкладки, представим комплексный динамический коэффициент передачи силы с рельса на путевой бетон:

$$T_c = (1 - 2, * f / f_p * - (f / f_p f - 2i * f j f_p 4) -$$

Значения коэффициентов демпфирования упругих элементов рельсовых скреплений лежат в интервале 4-8 % и зависят от степени затяжки болтов. Чем сильнее сжаты прокладки, тем меньше коэффициенты демпфирования, и тем больше коэффициенты динамики в области резонансных частот. Резонансная частота с учётом неподдрессоренных масс подвижного состава 65-75 Гц, что говорит об очень высокой жёсткости конструкции [1]. Коэффициенты передачи силы с рельсов на бетон в такой конструкции в широком диапазоне частот существенно превышают единицу. В области резонансной частоты коэффициенты динамики при зажатых прокладках могут превысить значение, равное 10. Область частот, в которой коэффициенты динамики превышают единицу, как следует из теории виброизоляции, определяется выражением  $f = \sim 2f_0$  [2]. Для данной конструкции это широкая полоса частот, простирающаяся до частоты 100 Гц. Спектр динамических воздействий на рельс при движении колеса в этой полосе частот имеет существенные составляющие. При качении колеса по неравно жёсткому пути и по пути с неровностями, а также наличии «ползунов» и выщербин на колёсах, динамические воздействия значительно превышают статические.

В рельсовых скреплениях используются прокладки из жёсткой резины, для уменьшения жёсткости прокладки гофрируются. Наличие гофров приводит к неконтролируемому изменению жёсткости, к появлению концентраторов напряжений в прокладках, что приводит к ускоренному износу и выходу из строя [3]. Выходом из этого положения может быть использование более эластичного синтетического материала.

Для определения коэффициента передачи силы для конструкции верхнего строения пути со шпалами на упруговязких прокладках применим преобразование Фурье по переменным  $x$  и  $t$  к системе уравнений:

$$m_{ш} \ddot{x} + c_{ш} \dot{x} + k_{ш} x = m_{п} \ddot{y} + c_{п} \dot{y} + k_{п} y - m_{п} \ddot{z} + c_{п} \dot{z} + k_{п} z = 0,$$

Интегральная сила, передающаяся со шпал на путевой бетон, равна

∞

Опуская промежуточные выкладки, представим комплексный динамический коэффициент передачи силы с рельса на путевой бетон.

$$T_c = \frac{f_w \cdot f_p}{\left[1 - \frac{f^2}{f_p^2} - i \frac{f}{f_p} 2\xi_p\right] \cdot \left[1 - \frac{f^2}{f_w^2} - i \frac{f}{f_w} 2\xi_w - \frac{K_p}{K_w} \left(i \frac{f}{f_p} 2\xi_p - 1\right)\right]} - K_p K_w \left(\dots\right)$$

где / - частота, действующей на рельс силы.

В качестве исходных данных приняты: парциальная частота колебаний неподрессоренной массы и рельса на рельсовых скреплениях  $\wedge$ -65 Гц; парциальная частота колебаний пути на подшпальных прокладках  $\wedge$  -25 Гц (на основании предварительных расчётов и анализа зарубежного опыта использования подобных конструкций верхнего строения пути); отношение жесткости рельсового скрепления к жесткости подшпального основания  $k/k_w$  - 10; безразмерные коэффициенты демпфирования упругих элементов рельсовых скреплений  $\xi$  и подшпальных упруговязких прокладок - соответственно 0,05 и 0,1.

Для такой модели конструкции коэффициент передачи силы меньше единицы. Этот факт свидетельствует о том, что конструкция обладает хорошими виброизолирующими свойствами.

Настоящий расчёт является предварительным и эскизным. Выбор параметров для реальной конструкции уточняется при принятии решения об использовании этого типа пути для модернизации пути в тоннеле. С целью использования этих материалов в конструкциях верхнего строения пути сначала проводятся исследования и лабораторные испытания различных упруговязких материалов для определения их динамических характеристик, включая выносливость и долговечность.

Для удобства сравнения динамических (виброизолирующих) свойств существующей конструкции верхнего строения пути с конструкцией верхнего строения пути со шпалами на упруговязких прокладках представим коэффициенты передачи силы с рельса на путевой бетон для этих двух конструкций на одном графике (рис. 1).

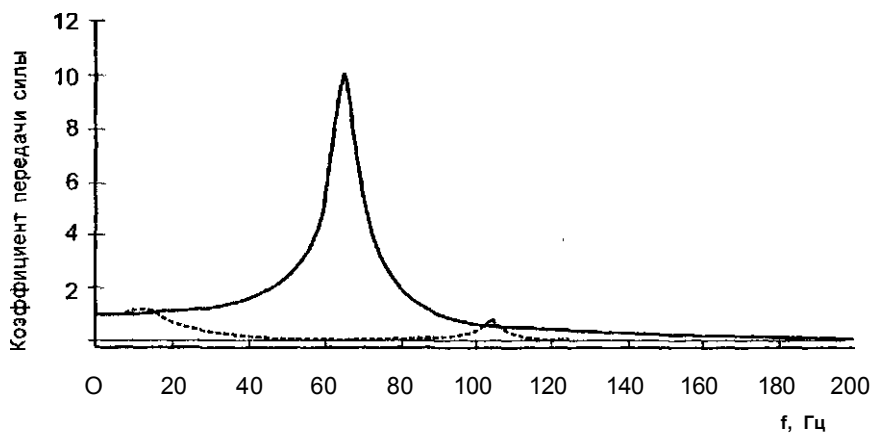


Рис. 1. Графики коэффициентов передачи силы: — путь на шпалах с упряговязкими прокладками; — путь с замоноличенными в путевой бетон шпалами

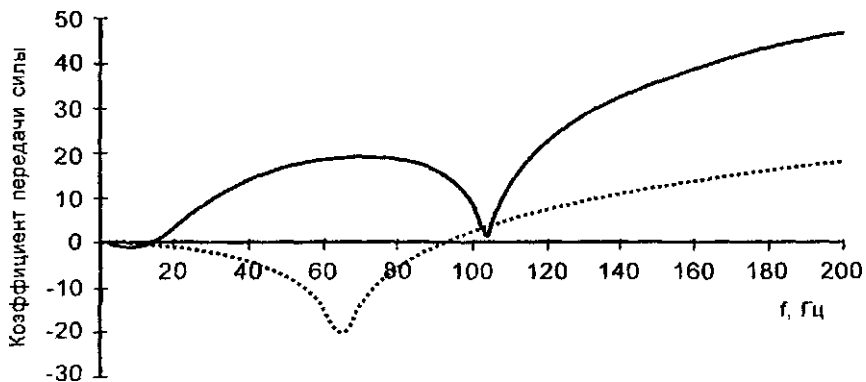


Рис. 2. Эффективность виброзащитных свойств: — путь на шпалах с упряговязкими прокладками; ••• путь с замоноличенными в путевой бетон шпалами

Отделение шпал от путевого бетона с введением упруговязкой прослойки существенно меняет динамическую работу конструкции. Упругие прокладки между шпалами и бетоном, а также инерционные свойства шпал, которые в такой конструкции колеблются независимо от основания, значительно снижают динамические силы, передающиеся на путевой бетон и обратный свод тоннельной обделки (рис. 1). В такой конструкции становится менее существенным влияние жёсткости прокладок рельсовых скреплений. Коэффициент динамичности такой конструкции практически во всём диапазоне спектра частот динамических воздействий подвижной нагрузки на рельс, меньше единицы. Другими словами, конструкция со шпалами на упругих прокладках обладает необходимыми виброзащитными свойствами.

Кривые эффективности существующей и предлагаемой конструкций показывают, на сколько децибелл и на каких частотах конструкция увеличивает или уменьшает уровень динамических воздействий. Существующая конструкция пути с замоноличенными шпалами имеет отрицательную эффективность в диапазоне до 90 Гц (рис. 2). Причём в области резонансной частоты уровни вибраций, передающихся на бетон, могут возрасти на 20 дБ.

Результаты исследования показали, что предлагаемая конструкция со шпалами на упругих прокладках имеет незначительный отрицательный эффект на низких частотах и практически во всём необходимом диапазоне частот имеет положительную эффективность [4].

## Литература

1. Головина А., Елсуков В., Головин П., Мартьянов В. Эффективность резиновых прокладок под основание пути для снижения вибраций // Метрострой. - 1982. - № 8. - С. 23-25.
2. Дорман И., Богомолов Г., Муромцев Ю. Виброизолированная конструкция нижнего строения пути // Метрострой. - 1981. - № 2. - С. 13-15.
3. Бирюков И. В., Савоськин А. Н., Бурчак Г. П. Учебник для вузов ж.-д. трансп. - М.: Транспорт, 1992.
4. Исакова С. К. Критерии эффективности виброзащитных свойств конструкций верхнего строения пути для моделей с распределёнными параметрами // Вестник КазАТК. - 2008. - № 2. - С. 58-61.