

**ИНЕРЦИОННОЕ ДЕМПИРОВАНИЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ В ЦЕЛЯХ  
ПОВЫШЕНИЯ ЕГО СЕЙСМОСТОЙКОСТИ****INERTIAL DAMPING RAILWAY TRACK IN ORDER TO ENHANCE ITS SEISMIC**

*Бул макалада темир жолдогу сейсмикалык күчтөрдү төмөндөтүү чечимдери сунуш кылынат.*

**Ачык сөздөр:** демпфер, темир жол трэги, басым, чыналуу, сейсмикалык туруктуулук.

*В этой работе предлагается решение по снижению сейсмической нагрузки на железнодорожный путь.*

**Ключевые слова:** демпфер, железнодорожный путь, нагрузка, напряжение, сейсмостойкость.

*The solution in reduce of seismic load on the railway track is offered in this article.*

**Keywords:** damper, railway track, load, strain, seismic resistance.

Железнодорожный путь представляет собой сложную систему из грунтовых сооружений, железобетонного основания пути, стальных балок сложного сечения – рельсов и, различных искусственных сооружений. В процессе эксплуатации железнодорожный путь воспринимает наравне со статическими воздействиями сильные динамические нагрузки. В условиях Кыргызстана наиболее актуальным из них является сейсмическая нагрузка. Сейсмические колебания с магнитудой более 6 происходят в Кыргызстане очень часто и согласно отчету института сейсмологии, стоит ожидать землетрясения с магнитудой 7-8 в ближайшей перспективе. Деформации железнодорожного пути от действия сейсмических сил довольно хорошо изучены и представляют собой нарушение геометрии пути, как по вертикали, так и в горизонтальной плоскости. Пластические деформации грунтового сооружения сопряжены с физико-механическими характеристиками осадочных горных пород, из которых, как правило, сооружают земляное полотно железных дорог. Значительное линейное развитие грунтовых сооружений также является фактором повышенного риска развития пластических деформаций. Так как разные участки железных дорог при действии сейсмических сил воспринимают отличные от соседних участков нагрузки по частотным и силовым параметрам. Когда происходят пластические деформации грунтового основания пути, железобетонные и металлические конструкции, известные как верхнее строение пути или рельсо-шпальная решетка, лишаются основания, следствием чего становится неизбежное нарушение целостности конструкций, что и можно охарактеризовать как деформация пути или нарушение его геометрии. В случаях, когда это происходит при движении по железнодорожному пути подвижных составов, сход с рельсов поездов вполне ожидаемый процесс, результатом чего станут значительные человеческие жертвы.

Другой актуальной проблемой в обеспечении устойчивости железнодорожного пути является подвижная динамическая нагрузка. Железная дорога и все сопутствующие искусственные сооружения подвергаются постоянной подвижной нагрузке. Степень интенсивности подвижной нагрузки напрямую зависит от транспортно-логистической нагрузки всей сети железных дорог, что является следствием роста экономики и развития торговли. В этих условиях в целях обеспечения все более растущих потребностей рынка в транспортных услугах необходима глубокая модернизация существующей транспортной инфраструктуры, состояние которой по самым благоприятным оценкам далека от требуемых

параметров. Действие подвижной нагрузки на железнодорожный путь в первом приближении можно сравнить с действием сейсмических сил. Подобие двух динамических составляющих этих нагрузок можно характеризовать в резонансных колебаниях конструкций сооружений и чем больше вес подвижного состава и его скорость, тем выше значения по критериям подобия к сейсмическим силам.

Предлагаемое конструктивное решение по демпфированию колебаний железнодорожного пути предназначено для практической реализации принципов активного противодействия сейсмическим силам. Реализация этого решения возможна на электрифицированных железных дорогах, т.к. по условиям конструкции инерционный гаситель локализуется внутри опоры линии контактной сети железных дорог. Потому что строительство дополнительных опор для инерционного гашения колебаний представляется необоснованным с экономической точки зрения. В целях повышения сейсмостойкости существующих железных дорог с существующими опорами контактной сети возможен вариант локализации инерционного гасителя в теле опоры. В условиях Кыргызстана, где железные дороги не электрифицированы, рекомендуется сооружение отдельной инфраструктуры инерционного гашения, т.е. опорной части, в районах, наиболее подверженных сильным землетрясениям или на наиболее ответственных участках железных дорог, как места сопряжения с мостовыми сооружениями, водопропускными трубами, противолавинными галереями.

Конструктивно инерционный успокоитель колебаний представляет собой цилиндр весом 200 кг, подвешенный на тросы и опертый на пружинное основание. Конструкция размещается внутри опоры линии контактной сети железных дорог. Передача колебаний от железнодорожного пути к инерционному гасителю осуществляется посредством поперечной балки, которая жестко закреплена в опорной части. Сама поперечная балка с одной стороны закреплена к опоре, с другой стороны замещает собой железнодорожную шпалу и опирается на земляное полотно и является основанием для рельсов. При прохождении подвижных составов возбуждаемые ими продольные и поперечные нагрузки передаются по балкам-шпалам к опорной части, где размещен инерционный гаситель. Эти нагрузки воспринимаются опорами и передаются через пружинное основание и тросы на груз, который колеблется с периодом, формой и частотой колебаний отличными от периодов, форм и частоты колебаний железнодорожного пути, что предотвращает развитие резонансных явлений на теле самого железнодорожного пути. По своей сути инерционный гаситель воспринимает колебания пути на себя, колеблется сам и затухает, при этом происходит, во-первых, гашение опасных колебаний, во-вторых, не возникают опасные резонансные колебания пути. Амплитудно-частотные характеристики напрямую зависят от веса гасителя, величины передаваемой кинетической энергии и физических пределов амплитуды колебаний гасителя, что можно регулировать ограничителями. Теоретические исследования и их проверка в численных симуляционных средах показали оптимальный вес груза в 200 кг для железных дорог, где вес брутто подвижных составов не превышает 5000 т. При этом размещение инерционных гасителей на каждой опоре линии контактной сети обязательно с шагом, соответствующим шагу опорных частей.

Активное противодействие сейсмическим силам происходит по аналогичной схеме, лишь с поправкой, что возбуждаемые колебания передаются из грунтов основания к земляному полотну, далее на поперечные балки-шпалы. Тут очевидно происходит вертикальная передача кинетической энергии, что обуславливается механизмами передачи сейсмических сил на вертикальные сооружения. Техническое решение поясняется рисунками 1, 2. Результаты расчетов и численных экспериментов приведены в сравнительных графиках.

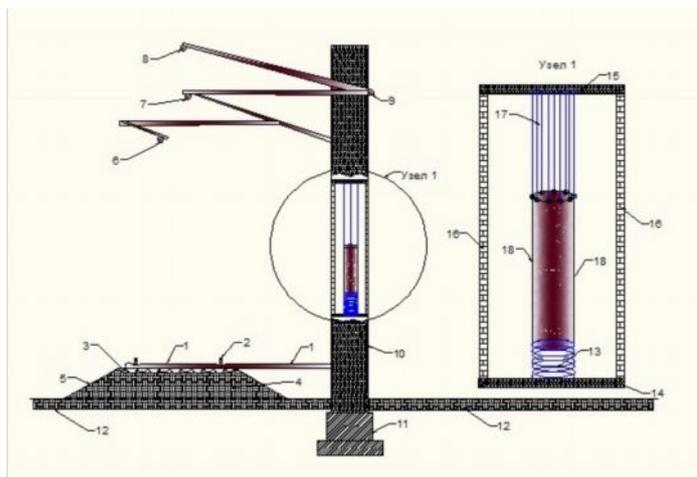


Рис. 1. Сейсмостойкий демпфер колебаний железнодорожного пути:

1 - поперечная балка-шпала; 2 - рельс; 3 - балластная призма; 4 - земляное полотно; 5 - откос земляного полотна; 6 - контактный провод; 7 - несущий трос; 8 - отсасывающий провод; 9 - обратный провод; 10 - несущая опора; 11 - фундамент опоры; 12 - грунты основания; 13 - пружинный демпфер; 14 - основание пружинного демпфера; 15 - основание подвесных тросов; 16 - обшивка из демпфирующего материала; 17 - подвесные тросы; 18 - инерционный успокоитель колебаний  $m=200$  кг.

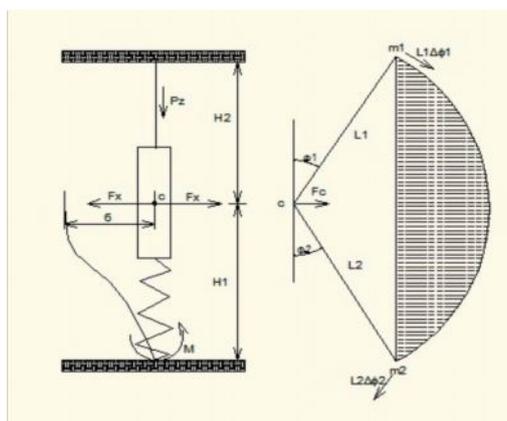


Рис. 2. Расчетная схема предложенного технического решения

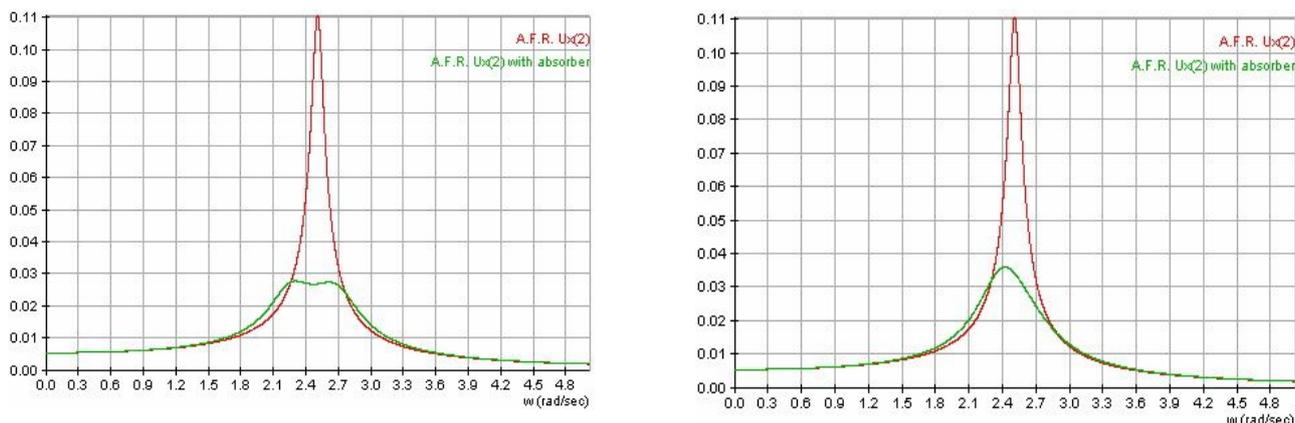


Рис. 3. Колебания жд пути при действии продольной поперечной сейсмической нагрузки  $M=7,0$ : красная линия – жд путь без инерционного гасителя; зеленая линия – жд путь с инерционным гасителем.

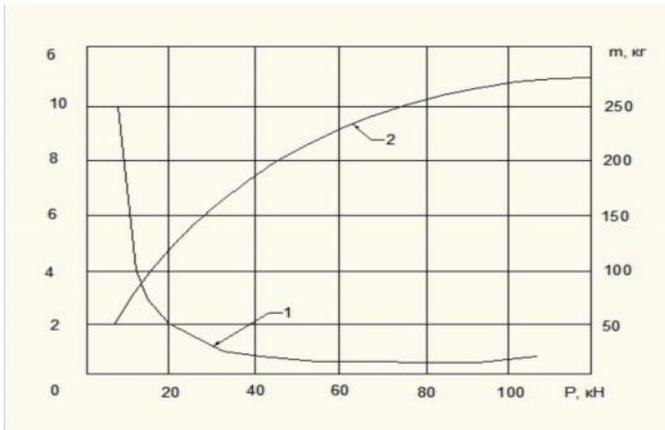


Рис. 4. График зависимости декремента инерционного гасителя от его веса: 1 - декремент гасителя; 2 - вес гасителя.

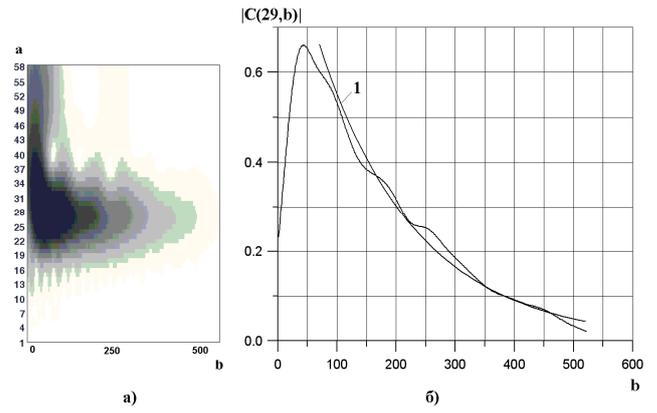


Рис. 5. График собственного затухания колебаний инерционного успокоителя: а – проекция поверхности амплитуды собственного затухания; б – сечение поверхности амплитуды затухания плоскостью  $a=a_0=29$ ; 1 - аппроксимация сечения при  $b \geq b_0$ .

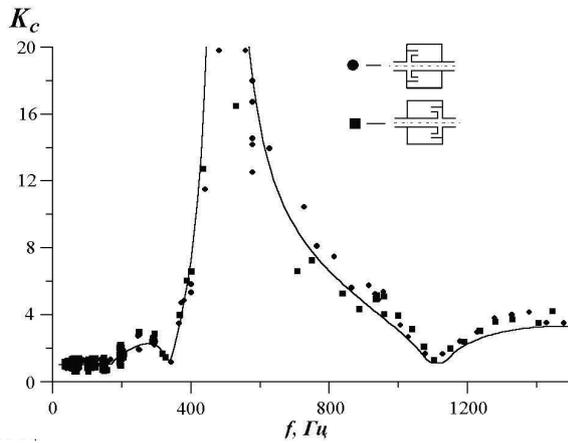
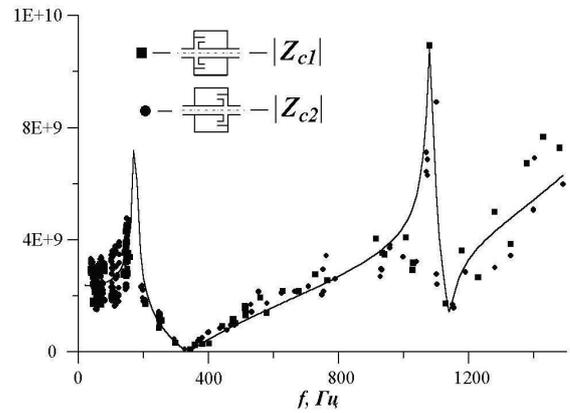


Рис. 6. Частотные параметры собственных колебаний инерционного гасителя



Расчетное обоснование предложенного технического решения.

Наиболее перспективным для гашения колебаний сооружений с собственными периодами  $T_0 \geq 2$  с, или частотами собственных колебаний  $f \leq 0,5$  Гц используют динамические гасители в виде маятника с демпфированием. Уравнение колебаний такого гасителя имеет вид /1/

$$\varphi + 2n\dot{\varphi} + \frac{g}{m_1 + m_2} \left( \frac{m_1}{l_1} - \frac{m_2}{l_2} \right) \varphi = 0 \quad (1)$$

где  $\varphi$  — угловое отклонение гасителя от положения равновесия;  $m_1$  — верхняя (наружная) масса гасителя колебаний;  $m_2$  — нижняя (внутренняя) масса гасителя колебаний;  $l_1$  и  $l_2$  — длина подвески соответственно верхней и нижней массы;  $g$  — ускорение свободного падения;  $n = \alpha/[2(m_1 + m_2)]$ ,  $\alpha$  — коэффициент сопротивления демпфера гасителя.

Декремент колебаний гасителя, характеризующий его демпфирующие свойства, определяют по формуле

$$\delta = n\tau_1 = \frac{\alpha}{\sqrt{\left(\frac{\omega}{n}\right)^2 - 1}} \quad (2)$$

где  $\tau_1$  — период колебаний гасителя с демпфированием.

При этом  $\tau_1$  находят из выражения

$$\tau_1 = \tau_0 \sqrt{\frac{1 + \delta^2}{4\pi^2}} \quad (3)$$

в котором  $\tau_0$  — период колебаний гасителя без демпфирования. Из формулы (3) следует, что при  $\delta=1$  (наиболее часто встречающаяся величина декремента колебаний реальных гасителей колебаний) т.е.  $\tau_1$  и  $\tau_0$  различаются на 1,26 %. Поэтому для динамических гасителей колебаний влияние демпфирования на период (частоту) колебаний можно не учитывать. Подставляя в (2) выражения для  $\omega$  и  $n$ , получаем

$$\delta = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{4gM}{\alpha^2} \left( \frac{m_1}{l_1} - \frac{m_2}{l_2} \right)}}, \quad (4)$$

где  $M = m_1 + m_2$ . Решив (4) относительно  $\alpha$ , имеем

$$\alpha = \frac{\delta}{\pi} \sqrt{gM \left( \frac{m_1}{l_1} - \frac{m_2}{l_2} \right)}. \quad (5)$$

Выражение (5) показывает зависимость величины коэффициента трения гасителя колебаний, определяемого конструктивными особенностями и размерами используемых демпферов, от массовых и геометрических параметров гасителя колебаний. Частоту собственных колебаний инерционной массы гасителя можно вычислить из уравнения (1) следующим образом

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{m_1 + m_2} \left( \frac{m_1}{l_1} - \frac{m_2}{l_2} \right)}. \quad (6)$$

С учетом (6) выражение (5) приведем к виду

$$\alpha = \frac{M\omega\delta}{\pi} \quad (7)$$

С помощью выражения (7) можно, например, исследовать зависимость геометрических параметров цилиндров-демпферов гасителей колебаний от величины инерционной массы гасителя  $M$ . Решая (7) относительно величины  $\delta$ , получим

$$\delta = \frac{\pi\alpha}{(M\omega)} \quad (8)$$

Зависимость (8) для различных значений  $M$  при постоянных  $\alpha$  и  $\omega$  представлена на рисунке 5 (кривая 1). При этом величина  $\alpha$  принята равной 3330 Н·с/м, что соответствует  $\alpha$  для демпфера гасителя колебаний весом 100 кН. Эта величина постоянная для любых значений инерционной массы гасителей колебаний в пределах от 100 до 5 кН. Для гасителя колебаний весом 100 кН принимаем  $\omega = 0,17$  Гц, а для других гасителей в диапазоне инерционных масс от 100 до 5 кН величина  $\omega$  постоянная и равна 0,33 Гц.

Выводы. Практическое применение предложенного конструктивного решения по демпфированию железнодорожного пути позволит снизить сейсмическую нагрузку и, при магнитуде 7,0 балльность по шкале MSK будет соответствовать 5 баллам; при магнитуде 6,0 будет соответствовать 4 баллам; при магнитуде 5,0 будет соответствовать 3-4 баллам. Сокращение усилий при подвижной нагрузке при условии проезда подвижных составов весом брутто до 5000 т будет порядка 45 %.

### Список литературы

1. Остроумов Б.В. Геометрические параметры демпфирующих устройств динамических гасителей колебаний [Текст] / Б.В. Остроумов, М.А. Гусев, А.В.Бутаков // Промышленное и гражданское строительство. – 2008. - № 5.