

УДК 622.625.6

В. О. Гутаревич¹, д-р техн. наук, **А. Н. Рак²**, доцент, **М. Н. Прибой¹**, студент¹Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Россия²Камчатский государственный технический университет, г. Петропавловск-Камчатский

Тел.: +7(856) 3010787; E-mail: gzt1@fimm.donntu.ru

СНИЖЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК В ПОДВЕСКЕ СТРЕЛОЧНОГО ПЕРЕВОДА МОНОРЕЛЬСОВОГО ПУТИ

В статье приведена математическая модель ударного взаимодействия на подвеску стрелочного перевода монорельсового пути перевода, устанавливающая взаимосвязь между параметрами подвижного состава и динамическими нагрузками, действующими в подвеске. В результате получены уравнения устанавливающие максимальные перемещения в подвеске во время удара и требуемую диссипативную силу. Полученные результаты позволяют обоснованно определять параметры крепления стрелочных переводов монорельсового пути для шахтных подвесных монорельсовых дорог.

Ключевые слова: математическая модель, монорельсовый путь, стрелочный перевод, динамические нагрузки, частота

V. O. Gutarevich, A. N. Rak, M. N. Priboy

REDUCTION OF DYNAMIC LOADS ON THE SUSPENSION TURNOUT OF MONORAIL TRACK

The developed mathematical model of impact interaction on suspension of turnout of monorail track allows to establish relationship between parameters of rolling stock and dynamic loads acting in suspension. As a result, equations are obtained that establish the maximum displacements in suspension during impact and required dissipative force. The results obtained will make it possible to reasonably establish parameters for fixing turnouts of monorail track for mine suspended monorail roads.

Keywords: mathematical model, monorail track, turnout, dynamic loads, frequency.

1. Введение

Во время движения подвижного состава по стрелочному переводу шахтной подвесной монорельсовой дороги неизбежно возникают деформации ее подвески, которые приводят к появлению динамических нагрузок, воздействующих на крепление горных выработок. При этом на стыках монорельсового пути стрелочного перевода также происходят удары, которые существенно снижают прочность крепи. Поэтому исследование динамических процессов, формирующихся во время движения подвижного состава и оптимизация управления подвеской стрелочного перевода, является актуальной задачей.

Динамические процессы, протекающие во время движения по стрелочным переводам железнодорожного (наземного) рельсового пути исследована довольно подробно. Моделирование динамических систем взаимодействия подвижного состава и стрелочного перевода с учетом неровностей рельсовых нитей проведено в работах [1, 2].

Динамическое воздействие вагонов на железнодорожные стрелочные переводы рассмотрено в статье [3]. Исследования [4, 5] посвящены особенностям математического моделирования динамических процессов во время прохождения вагоном стрелочного перевода. Математическая модель стрелочного перевода с остриями увеличенной длины приведена в работе [6]. В статьях [7, 8, 9] рассмотрены тенденции развития стрелочного хозяйства и определены дальнейшие направления железнодорожных стрелочных переводов.

В статьях [7, 8, 9] рассмотрены тенденции развития стрелочного хозяйства и определены дальнейшие направления железнодорожных стрелочных переводов. Рабо-

ты [10, 11] направлены на исследование динамики приводов стрелочных переводов горного транспорта.

Однако конструкция подвесного монорельсового пути имеет существенные отличия [12-15], поэтому полученные ранее результаты исследований требуют уточнений.

2. Цель и задачи работы

Цель – снижение динамических нагрузок формирующихся во время движения шахтной подвесной монорельсовой дороги по стрелочному переводу за счет управления параметрами его подвески.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

- составить расчетную схему движения подвижного состава по подвесному стрелочному переводу;
- разработать математическую модель ударного взаимодействия на подвеску стрелочного перевода монорельсового пути перевода;
- установить взаимосвязь между параметрами подвижного состава и динамическими нагрузками, действующими в подвеске;
- определить максимальные перемещения в подвеске, происходящие во время удара и требуемая диссипативная сила.

3. Основное содержание и результаты работы

Рассмотрим воздействие на кровлю горной выработки от динамического ударного воздействия подвижного состава через подвеску монорельсового пути. Расчетная динамическая схема для исследования оптимального управления показана на рисунке 1.

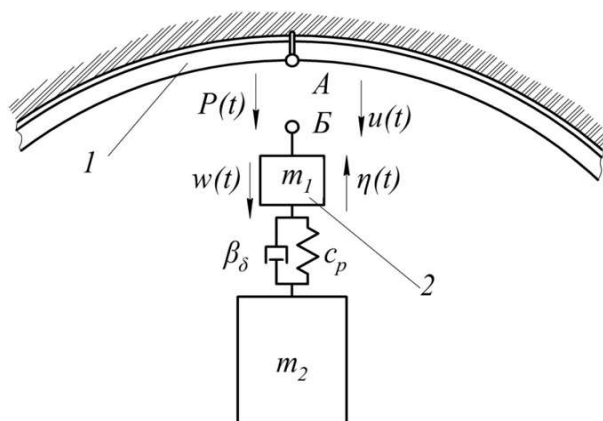


Рисунок 1. Расчетная схема ударного воздействия на подвеску стрелочного перевода монорельсового пути: 1 – крепь горной выработки; 2 – стрелочный перевод монорельсового пути

Считаем, что точка A , показанная на этом рисунке, принадлежит креплению горной выработки, а точка B – подвеске стрелочного перевода монорельсового пути. Выделим из подвижного состава сосредоточенную массу $m_1 = 1$, приходящуюся на одну подвеску монорельсового пути. Если к этой массе приложены внешние воздействия $\eta(t)$ и воздействия управления $P(t)$, то возможны вертикальные смещения точки B относительно крепи горной выработки $\delta(t)$.

При этом уравнение управления подвеской монорельсового пути имеет вид

$$\ddot{\delta}(t) = \eta(t) - P(t) \quad (1)$$

В начальный момент времени, когда $t = 0$, начальными условиями для решения этого дифференциального уравнения будут $\delta = \dot{\delta} = 0$.

Используя минимаксную постановку оптимальное управление можно найти, используя ограничение $P(t) \leq P_o$.

Относительная скорость смещения точки B равна:

$$\dot{\delta} = s(t) - v(t), \quad (2)$$

где
$$s(t) = \int_0^t \eta(t) dt, v(t) = \int_0^t P(t) dt.$$

Для одностороннего одиночного удара на подвеску стрелочного перевода монорельса продолжительностью τ имеет место соотношение [16]:

$$\int_0^{\tau} \eta(t) dt = v(\tau) > P_o(\tau) \quad (3)$$

В этом случае минимизирующая функция будет:

$$v(t) = \begin{cases} P_o(t) & 0 \leq t \leq T; \\ P_o T & t \geq T, \end{cases}$$

где

$$T = \frac{v(\tau)}{P_o} > \tau.$$

На основании этого минимаксное смещение подвески монорельса при воздействии одностороннего удара приближенно равно:

$$\delta_m = \frac{v^2(\tau)}{2P_o} \quad (5)$$

С учетом действия упругой силы $R_u(\delta)$ и диссипативной силы $R_d(\delta, \dot{\delta})$, принимающей нулевое значение при $\dot{\delta} = 0$, имеем:

$$P(t) = F(t) + R_u[\delta(t)] + R_d[\delta(t), \dot{\delta}(t)], \quad (6)$$

где $F(t)$ – сила, возникающая в месте взаимодействия части подвижного состава с монорельсом, с учетом упругой и диссипативной сил.

Тогда исходные уравнения, описывающие движение системы, будут:

$$\begin{aligned} P(t) &= F(t) + R_u(t); \\ F(t) &= c_p(\delta - z); \\ m_2 \ddot{z} + c_p(z - \delta) &= 0. \end{aligned}$$

При этом оптимальное решение для $\delta(t)$ устанавливается выражением:

$$\delta(t) = s_o t - \frac{P_o t^2}{2} \quad (7)$$

Применяя изображение по Лапласу, получим:

$$\Delta(p) = \frac{s_o}{p^2} - \frac{P_o}{p^3}, \quad R_u(p) = \frac{P_o}{p} - c_p \left(\frac{s_o}{p^2 + \omega_q^2} + \frac{1}{p^2(p^2 + \omega_q^2)} \right), \quad (8)$$

где ω_q – парциальная частота системы;

$$\omega_q = \sqrt{\frac{c_p}{m_2}}. \quad (9)$$

Тогда диссипативная сила будет:

$$R_u(t) = P_o - c_p \left(s_o \frac{\sin \omega_q t}{\omega_q} + P_o \frac{1 - \cos \omega_q t}{\omega_q^2} \right) \quad (10)$$

Таким образом, на основании приведенных зависимостей определяется оптимальное решение уравнений, описывающих движение подвижного состава по стрелочному переводу. Полученные результаты позволяют рассчитать необходимые параметры для последующей модернизации подвески стрелочного перевода шахтной подвесной монорельсовой дороги. Усовершенствование, в свою очередь, дает возможность минимизировать разрушающее воздействие динамических нагрузок на конструкцию стрелочного перевода и его крепление.

4. Заключение

На основании вышеизложенного следует:

1. Разработанная математическая модель ударного взаимодействия на подвеску стрелочного перевода монорельсового пути перевода позволяет найти взаимосвязь между параметрами подвижного состава и динамическими нагрузками, действующими в подвеске.

2. Полученные уравнения, устанавливающие максимальные перемещения в подвеске во время удара и диссипативную силу, дают возможность обоснованно определять параметры для крепления стрелочных переводов монорельсового пути шахтных подвесных монорельсовых дорог.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Басовский, Д. А. Моделирование динамических систем взаимодействия подвижного состава и стрелочного перевода / Д. А. Басовский // Путь и путевое хозяйство. – 2016. – № 1. – С. 33-35.

2. Басовский, Д. А. Моделирование динамических систем на примере взаимодействия подвижного состава и стрелочного перевода / Д. А. Басовский, В. С. Лесничий // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2014. – № 2. – С. 50-52.

3. Динамическое воздействие вагонов, имеющих колесные пары с тонкими гребнями, на стрелочные переводы / Б. Э. Глюзберг, М. И. Титаренко, Е. А. Тимакова [и др.] // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2020. – Т. 79, № 4. – С. 202-208.

4. Королев, В. В. Моделирование стрелочных переводов на плитном основании / В. В. Королев // Наука и техника транспорта. – 2019. – № 3. – С. 77-87.

5. Особенности математического моделирования динамических процессов прохождения вагоном стрелочного перевода / Ю. С. Ромен, Б. Э. Глюзберг, Е. А. Тимакова, В. А. Быков // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2020. – Т. 79, № 3. – С. 119-126.

6. Маликов, М. Г. Математическая модель стрелочного перевода с остриями увеличенной длины для высокоскоростных железнодорожных магистралей / М. Г. Маликов, А. В. Жданов // Научно-технический вестник Поволжья. – 2019. – № 9. – С. 103-106.

7. Шишкина, И. В. Роликовые устройства для улучшения работы переводных механизмов стрелочных переводов / И. В. Шишкина, Н. В. Зверкова, Л. А. Елесина // Путь и путевое хозяйство. – 2020. – № 12. – С. 12-14.

8. Шишкина, И. В. Цельнолитая подкладка с подушкой для стрелочных переводов / И. В. Шишкина // Наука и техника транспорта. – 2019. – № 1. – С. 37-51.

9. Щербинина, Ю. В. Тенденции развития стрелочного хозяйства на высокоскоростных магистралях / Ю. В. Щербинина, А. С. Мосийчук // Сборник научных трудов Донецкого института железнодорожного транспорта. – 2018. – № 50. – С. 41-45.

10. Ладик, С.Л. Исследование динамики приводов стрелочных переводов горного транспорта / С.Л. Ладик, А.В. Говоруха // Геотехническая механика. – 2013. – №109. – С. 99-108.

11. Говоруха, В. В. Механика взаимодействия рельсового пути, подвижных транспортных средств и смежных устройств / В. В. Говоруха. – Днепропетровск: Лира, 2006. – 448 с.

12. Садриева, В. Р. Исследование динамики привода стрелочного перевода шахтной подвесной монорельсовой дороги / В. Р. Садриева, М. Н. Прибой // Актуальные проблемы недропользования: тезисы докладов XVIII Международного форума-конкурса студентов и молодых ученых, Санкт-Петербург, 15-21 мая 2022 года. Том 3. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский горный университет, 2022. – С. 56-58.

13. Gutarevich, V. O. Mathematical Modeling of End Carriage Motion on the Overhead Monorail / V. O. Gutarevich // Metallurgical and Mining Industry. – 2014. – Vol. 6. – No 5. – P. 51-55.

14. Reducing Oscillations in Suspension of Mine Monorail Track / V. O. Gutarevich, N. V. Martyushev, R. V. Klyuev [et al.] // Applied Sciences. – 2023. – Vol. 13, No. 8. – P. 4671.

15. Ignatkina, E. L. Research of the Rate of Changing the Mine Suspended Monorail Brakeforce When Braking / E. L. Ignatkina, A. V. Kostenko, S. N. Tsarenko // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : 2020 International Science and Technology Conference on Earth Science, ISTCEarthScience 2020, Vladivostok, 06–09 октября 2020 года. Vol. 666. – IOP Publishing Ltd: IOP Publishing Ltd, 2021. – P. 022025.

16. Вибрации в технике: справочник: В 6 т. Т. 6: Защита от вибрации и ударов / В.К. Асташев [и др.]; под ред. К.В. Фролова. – Москва: Машиностроение, 1995. – 456 с.

Поступила в редколлегию 16.01.2024 г.