

УДК 629.113

ЄФИМЕНКО А.М., аспірант
Донецька академія автомобільного транспорту

ВИБІР РАЦІОНАЛЬНИХ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ШВИДКІСНОГО МОНОРЕЙКОВОГО ВАГОНА

Проведено попередній аналіз впливу коефіцієнта жорсткості зовнішнього направляючого модуля та коефіцієнта демпфування при криволінійному русі швидкісного монорейкового вагона на основі спрощеної одномасової системи. Представлено візуалізацію процесу переходу від прямолінійного руху до руху по колу.

Ключові слова: швидкісний монорейковий вагон, зовнішній направляючий модуль, коефіцієнт демпфування.

Постановка проблеми

Монорейковий транспорт – вид транспорту, де вагони переміщуються по балці – монорейці, що установлена на опорах або естакаді на деякій відстані над землею. Цей вид транспорту експлуатується у всіх розвинених країнах, забезпечуючи перевезення пасажирів у зонах, де традиційний міський транспорт захлинається в надвузких транспортних коридорах у часи пік. Для забезпечення необхідних динамічних якостей (пружних переміщень вагону, обмеження нормальних прискорень під час переміщення по різноманітним ділянкам траєкторії) необхідно провести попередній аналіз конструктивних параметрів – коефіцієнта жорсткості зовнішнього направляючого модуля та коефіцієнта демпфування.

Аналіз останніх досліджень

Практичний інтерес викликає монорейковий транспорт з колісним обпиранням, технологія якого використовується в системі «Alweg» [1,2], де гумові шини (два основні колеса та чотири допоміжні) переміщуються по монорейці 4 (рис.1). Так званий направляючий модуль 3 виконує роль стабілізуючого елемента як в поперечному напрямі (забезпечує малі відхилення траєкторії вагону від програмної траєкторії, що визначається профілем рейкового шляху), так і повздовжньому напрямі (запобігає можливому боковому перекиданню вагону). Модель взаємодії колеса з опорною поверхнею наближено до традиційної моделі відведення І. Рокара [3, 4] та моделі силової взаємодії по Картеру [5, 6].

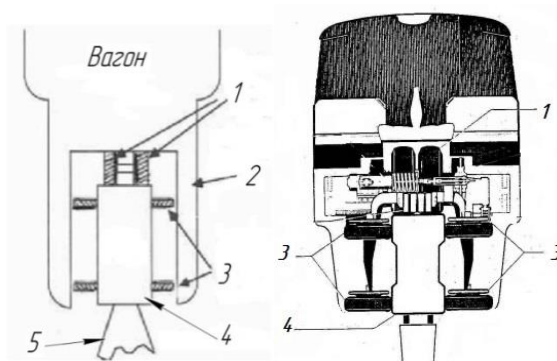


Рис. 1. Принципова схема Alweg:

1 – несучі колеса; 2 – бічні сторони вагону; 3 – направляючий модуль (стабілізуючі колеса); 4 – монорейка; 5 – підтримуюча колона

Мета статті

В роботі поставлено задачу вибору раціональних значень конструктивних параметрів для даної схеми вагона, які забезпечують його функціонування з достатнім рівнем безпеки. Провести попередній вибір коефіцієнта жорсткості зовнішнього направляючого модуля та коефіцієнта демпфування на основі чисельного моделювання динаміки криволінійного руху спрощеної одномасової моделі вагона.

Основний розділ

Розглядається одномасова модель вагона, що має направляючий модуль. Під час руху в кривих за рахунок пружної деформації направляючого модуля в поперечному напрямі може відбуватися схід несучих коліс 1 (рис.1) (вертикальних колісних опор), якому необхідно запобігти, по-друге, з'являється доцентрове прискорення, яке необхідно обмежити на рівні $a_{y\max} = 0,4g$ ($g = 9,8 \text{ м/с}^2$).

Оцінимо максимально допустиму кривизну та швидкість руху в криволінійних ділянках шляху. Швидкість обираємо 88 км/год, тоді радіус кривизни (з умови обмеження прискорення $a_{y\max} > V^2/R$) не менше 150 м. Далі розглянемо рух на перехідній кривій, що об'єднує прямолінійну ділянку та кругову ділянку з радіусом кривизни 150 м.

Проведемо чисельне моделювання руху по перехідній кривій у середовищі пакета чисельно-аналітичних розрахунків Maple. Характеристики коефіцієнтів пружності та демпфування будемо варіювати, щоб досягнути необхідних результатів (обмеження максимального нормального прискорення та пружних деформацій в поперечному напрямку).

Поперечний профіль програмної кривої (сполучення прямолінійної ділянки та закруглення радіуса $R = 150 \text{ м}$) задається співвідношенням (1):

$$\eta_1 = -\sqrt{-x^2 + 22500} + 150 \quad 0 < x < 40 \quad (1)$$

Будемо вважати, що рух відбувається з постійною за величиною швидкістю V (розглянуто припущення $x(t) = Vt$). Сили інерції в кривих ділянках призводять до пружної деформації направляючого колісного модуля, реалізація нормальної складової прискорення відбувається за рахунок пружних сил, тому усталене значення поперечної деформації Δz може бути пов'язане з характеристикою усталеного нормального прискорення системи, а саме

$$\Delta z \cdot c = mV^2 / R \quad (2)$$

Числові значення параметрів: $m = 13000 \text{ кг}$ – маса вагона, $c = 200000 \text{ Н/м}$ – коефіцієнт жорсткості та $KZ = 100000 \text{ Н с/м}$ – демпфування поперечного направляючого колісного модуля.

Перелік параметрів, які було використано для візуалізації одномасової моделі (рис. 2): $l_0 = 0,45 \text{ м}$; $l_1 = 0,3 \text{ м}$; $r_0 = 0,25 \text{ м}$; $H = 0,5 \text{ м}$; $L = 1 \text{ м}$; $N = 10$.

Для наведеного набору числових значень параметрів – усталене значення нормального прискорення $a_y = 3,3 \text{ м/с}^2$; усталене значення поперечної деформації $\Delta z = 0,214 \text{ м}$.

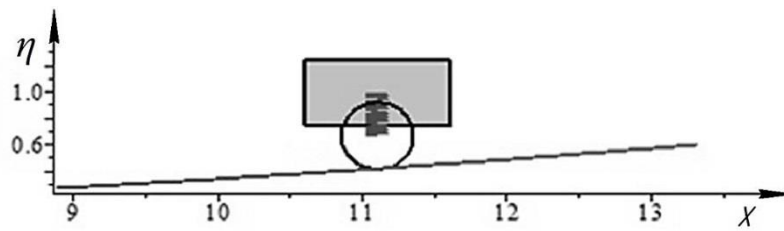


Рис. 2. Програмна перехідна крива та характеристика поперечної пружної деформації направляючого модуля вагона

Нижче наведена система диференціальних рівнянь для чисельного моделювання поперечної динаміки одномасової моделі вагона по програмній кривій довільного профілю, що задається функцією $\eta(t)$:

$$F := dsolve\left(\left\{\begin{aligned} &diff(x(t), t) = V, \\ &diff(z(t), t) = zv(t), \\ &(-c \cdot (z(t) + \eta(t)) - KZ \cdot (zv(t) + \eta)) / m, \\ &diff(\eta(t), t) = \eta_t, \\ &x(0) = 0, z(0) = 0., zv(0) = 0.0, \eta(0) = 0 \end{aligned}\right\}, [x(t), z(t), zv(t), \eta(t)], numeric, \\ initstep = 0.01, stiff = true, output = listprocedure\right).$$

Побудова графіка поперечного прискорення при чисельному моделюванні:

$$odeplot\left(F, [x(t), (-c \cdot (z(t) + \eta(t)) - KZ \cdot (zv(t) + \eta)) / m], 0..1.8, numpoint s = 150\right)$$

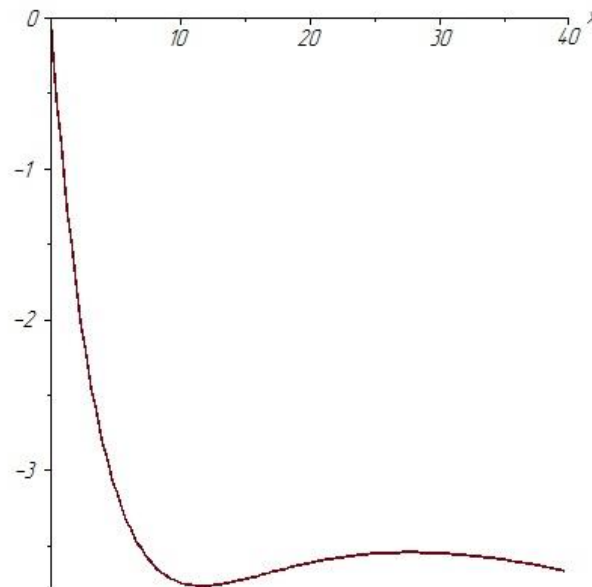


Рис. 3. Графік нормального прискорення при проходженні перехідної кривої

Пружна деформація поперечного направляючого модуля:

$$odeplot\left(F, [x(t), (z(t) + \eta(t))], 0..1.8, numpoint s = 150\right)$$

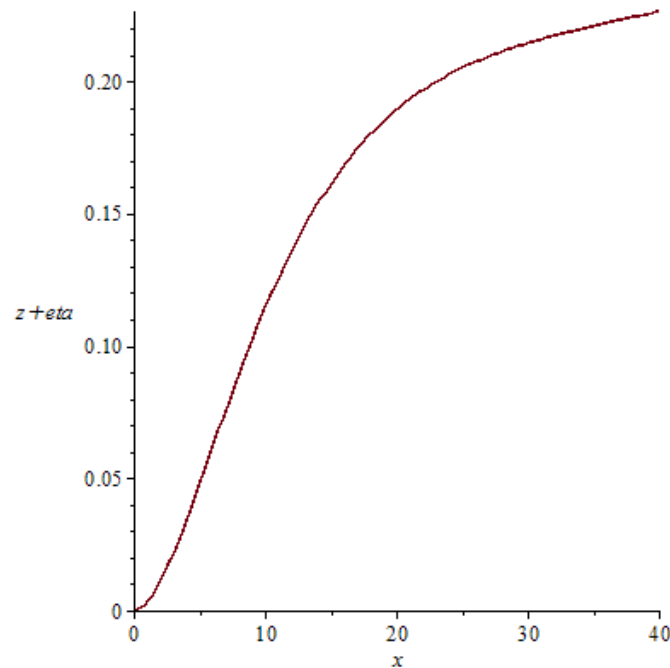


Рис. 4. Графік поперечної деформації направляючого модуля при проходженні перехідної кривої

Результати чисельного моделювання дають значення контрольних характеристик (нормального прискорення, пружної деформації), що наближаються до усталених значень, отриманих вище з аналітичного виразу (2) для випадку руху по колу.

Висновки

Отримано попередні раціональні значення коефіцієнту пружності та демпфування направляючого модуля та оцінено можливі пружні деформації. Далі буде проведено розрахунок більш повної моделі, що враховує лінійні розміри та вплив сил відведення на несучих вертикальних колесах по кривим довільного профілю.

Список літератури

1. www.STC-IN.com & www.skytraincorp.com. Monorail History and Technology of Successful Technology. Available at: http://www.skytraincorp.com/pp/stc_mht.pdf
2. Ryan R. Kennedy. Considering Monorail Rapid Transit for North American Cities. Available at: <http://www.monorails.org/webpix%202/ryanrkennedy.pdf>
3. Рокар И. Неустойчивость в механике / Ива Рокар. – М. : Издательство иностр. лит., 1959. – 288 с.
4. Эллис Д.Р. Управляемость автомобиля / Д.Р. Эллис. – М. : Машиностроение, 1975. – 216с.
5. Неймарк Ю.Н. Динамика неавтономных систем / Ю.Н. Неймарк, Н.А. Фуфаев. – М. : 1967. – 520 с.
6. Автоколебания рельсовых экипажей / Ю.В. Демин, Л. А. Длугач, М. Л. Коротенко, О. М. Маркова. – К. : Наук. Думка, 1984. – 160 с.

Ефименко А.Н. Выбор рациональных конструктивных параметров скоростного монорельсового вагона.

***Аннотация.** Проведен предыдущий анализ влияния коэффициента жесткости внешнего направляющего модуля и коэффициента демпфирования при криволинейном движении скоростного монорельсового вагона на основе упрощенной одномассовой системы. Представлена визуализация процесса перехода от прямолинейного движения к движению по кругу.*

Ключевые слова: скоростной монорельсовый вагон, внешний направляющий модуль, коэффициент демпфирования.

Yefimenko A.N. Choice of Rational Design Data of the High-Speed Monorail Car.

Abstract. *The previous analysis of influence of coefficient of rigidity of the external directing module and coefficient of damping in the curvilinear movement of the high-speed monorail car on the basis of the simplified one-mass system is carried out. Visualization of process of movement from the rectilinear motion to the circle line is presented.*

Keywords: *high-speed monorail car, the external directing module, damping coefficient.*

Стаття надійшла до редакції 05.09.2014 р.