

УДК 514.18

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВАГОНА ЗАЛЕЖНО ВІД ЙОГО ШВИДКОСТІ

Сухарькова О.І.,

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

Руденко С.Ю., к.т.н.

Національний університет цивільного захисту України (м. Харків)

Тел. 067-64-87-899

Анотація – в роботі досліджено вплив швидкості на параметри математичної моделі вагона, складеної на основі диференціальних рівнянь для одноосьової системи тіл з двома ступенями свободи із залученням методу фазових портретів у середовищі пакету Maple.

Ключові слова - фазова траєкторія, критичні значення швидкості, одноосьова модель, два ступеня свободи.

Постановка проблеми. Розвиток залізничного транспорту породжує питання, пов'язані і безпекою перевезень вантажів і пасажирів за умови підвищення швидкостей. З'являються нові й розвиваються існуючі методи розрахунків динаміки рухомого складу в залежності від стану рейкового господарства [1,2]. Тому актуальним є удосконалення розрахунків динаміки вагонів з використанням математичних методів, здатних досліджувати параметри коливань вузлів вагона в залежності від швидкості його руху. До таких методів відноситься метод фазових портретів, за допомогою якого можна здійснити аналіз коливань елементів рухомого складу у тому числі і на якісному рівні [3].

Аналіз останніх досліджень. Питанням динаміки вагона присвячені роботи [4-7], де викладені основи теорії вільних і вимушених коливань вагона з урахуванням тертя в ресорному підвішуванні, явища резонансу при коливаннях вагона під дією періодичних нерівностей, а також коливання вагонів у системі потяга, що рухається по пружному рейковому шляху. В існуючих моделях використовуються диференціальні рівняння переважно 4-ого або 5-ого порядків, які розв'язуються чисельними методами, тому їх складно використовувати для аналізу впливу вхідних параметрів на одержаний розв'язок. Наприклад, впливу швидкості на вертикальні переміщення вузлів вагона для обраних параметрів жорсткості буксової і центральної пружин ресорного підвішування та коефіцієнтів дисипації відповідних

демпферів. Тому доцільно використати метод фазових портретів у середовищі математичного пакету високого рівня (наприклад, Maple).

Формулювання цілей статті. Дослідити вплив швидкості на вертикальні переміщення вантажів математичної моделі вагона, складеної на основі диференціальних рівнянь для одноосової системи тіл із двома степенями свободи із залученням методу фазових портретів у середовищі пакету Maple.

Основна частина. Існує значна кількість математичних моделей, відповідних типам вагонів, візків і систем підвісу, де враховуються

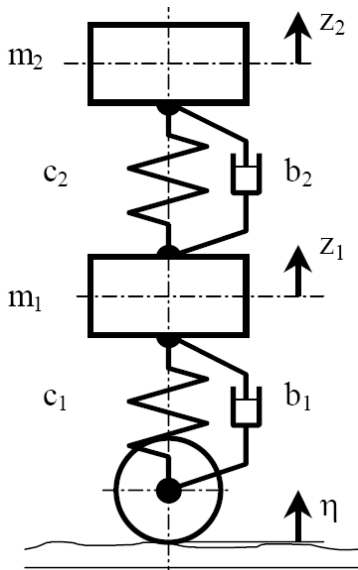


Рис. 1. Схема системи тіл із двома степенями свободи.

динамічні взаємодії вагона й рейкового шляху. В конкретних випадках опис моделі матиме відмінні риси стосовно певної задачі. Але всі вони в рамках створення інженерної моделі ґрунтуються на типовій базовій моделі, зображеній на рис.1. При необхідності ця модель доповнюється елементами, які дозволяють дослідити вплив параметрів.

Прийmemo в якості вхідних даних моделі вагона такі параметри: z_1 і z_2 - координати вертикальних переміщень центрів мас кузова і візка; маса візку $m_1=18,7$ т; маса кузова $m_2=53,2$ т; жорсткість буксової пружини ресорного підвішування $c_1=16120$ кН/м; жорсткість центральної пружини ресорного підвішування $c_2=10640$ кН/м; коефіцієнти відносного загасання демпферів $n_1=n_2=0,3$; коефіцієнт дисипації демпфера буксового підвішування $b_1 = 2n_1\sqrt{m_1(c_1 + c_2)}$; коефіцієнт дисипації демпфера центрального підвішування $b_2 = 2n_2\sqrt{m_2c_2}$.

Параметр нерівності шляху обчислено за формулою:

$$\eta(t) = A \left(1 - \cos 2\pi \frac{V}{L} t \right), \quad (1)$$

де: довжина хвилі нерівності $L=5$ м; висота нерівності $A = 0,005$ м; швидкість руху моделі по нерівності до $V=30$ м/с (тобто до 108 км/год).

Для визначення коливань динамічної моделі необхідно [5,7] розв'язати систему диференціальних рівнянь:

$$m_1 \ddot{z}_1 + (b_1 + b_2) \dot{z}_1 + (c_1 + c_2) z_1 - b_2 \dot{z}_2 - c_2 z_2 = b_1 \dot{\eta} + c_1 \eta; \quad (2)$$

$$m_2 \ddot{z}_2 - b_2 \dot{z}_1 - c_2 z_1 + b_2 \dot{z}_2 + c_2 z_2 = 0. \quad (3)$$

Із системи рівнянь (2)-(3) видно, що коливання обох мас зв'язані, тому що до обох рівнянь входять узагальнені координати переміщень

z , швидкостей \dot{z} і прискорень \ddot{z} відповідних вантажів. Між координатами цієї системи є пружно-дисипативний зв'язок.

Взаємозв'язок вертикальних коливань двох мас можна показати на графіку вільних коливань, для цього необхідно розв'язати рівняння (2) і (3) з нульовою правою частиною $b_1\dot{\eta} + c_1\eta = 0$, задати початкове переміщення або швидкість на одну із мас і побудувати графік.

Але більш цікавим є питання, пов'язане з визначенням критичних швидкостей, які «якісно» впливатимуть на вертикальні переміщення вантажів для обраних параметрів жорсткості буксової і центральної пружин ресорного підвішування та коефіцієнтів дисипації демпферів буксового й центральних пружин підвішування.

Для цього було складено Maple-програму побудови фазового портрету для обраних параметрів залежно від зміни швидкості у режимі комп'ютерної анімації. На рис. 2 наведено деякі анімаційні кадри фазових портретів коливань кузова на протязі 15 сек.

Критичними значеннями швидкості вважають такі, які викликають якісну зміну зображення фазового портрета. Наприклад, фазові портрети коливань кузова (рис. 2) для значень параметрів $V = 10,17$ м/сек і $V = 16$ м/сек будуть якісно різними. При дискретності анімації 100 кадрів на проміжку швидкостей від $V = 2$ м/сек до $V = 30$ м/сек було виявлено такі закономірності коливань на основі аналізу зміни фазових портретів.

Щодо *коливань візка* результати такі.

1. На інтервалі швидкостей від $V=2$ м/сек до $V=8$ м/сек амплітуда коливань збільшується від 0,01 м до 0,015 м, а вертикальна швидкість – від 0,001 м/сек до 0,1 м/сек.

2. Починаючи зі швидкості $V=10$ м/сек амплітуда коливань зменшується до 0,01 м, а вертикальна швидкість – до 0,07 м/сек.

3. Починаючи зі швидкості $V=13$ м/сек відбувається перебудова структури траєкторії фазового портрета: «навивка з середини» замінюється на «навивку з зовні» при попередніх (пункт 2) амплітудах коливань та вертикальних швидкостях.

4. Починаючи зі швидкості $V=15$ м/сек до $V=30$ м/сек амплітуда коливань збільшується до 0,01 м, а вертикальна швидкість – до 0,15 м/сек. При чому, центральна точка «навивки» фазової траєкторії має координати (0,005; 0), що вказує на встановлення режиму коливань.

Більш цікавим є аналіз *коливань корпусу вагона*.

1. На інтервалі швидкостей від $V=2$ м/сек до $V=8$ м/сек амплітуда коливань збільшується від 0,01 м до 0,02 м, а вертикальна швидкість – від 0,0001 м/сек до 0,15 м/сек.

2. Починаючи зі швидкості $V=10$ м/сек амплітуда коливань зменшується до 0,015 м, а вертикальна швидкість – до 0,01 м/сек.

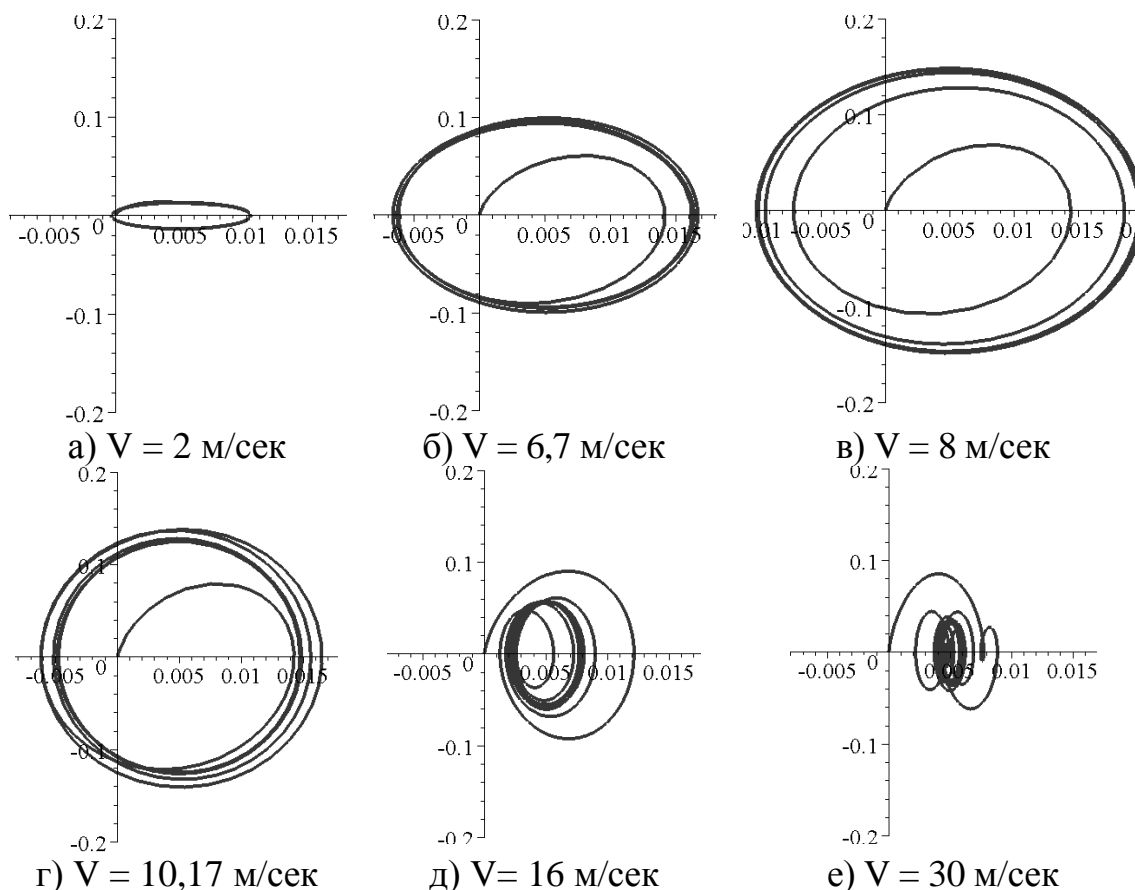


Рис. 2. Фазові портрети коливань кузова для деяких значень V .

3. Починаючи зі швидкості $V=15$ м/сек відбувається перебудова «навивки» структури траєкторії фазового портрета. «Навивка із зовні» (рис. 2д) відбувається до швидкості $V=17$ м/сек.

4. Починаючи зі швидкості $V=17$ м/сек до $V=30$ м/сек амплітуда коливань буде змінюватись у межах $0,01$ м, а вертикальна швидкість – у межах $0,1$ м/сек. (рис. 2е). Це вказує на вдалий підбір вхідних параметрів, що забезпечив режим коливань кузова вагона, амплітуда якого не зростає.

Висновки. На основі розробленої програми можна аналізувати вплив будь-якого параметра на коливання динамічної моделі із двома ступенями свободи, у тому числі і досліджувати вплив геометричних параметрів рейкового шляху з врахуванням при цьому його динамічної взаємодії з вагоном.

Література

1. Механическая часть тягового подвижного состава : учеб. для вузов ж.-д. трансп. / И.В. Бирюков [и др.]; под ред. И.В. Бирюкова. – М. : Транспорт, 1992. – 440 с.
2. Вершинский С.В. Динамика вагона / С.В. Вершинский, В.Н. Данилов, В.Д. Хусидов; под ред. С.В. Вершинского. – М.: Транспорт, 1991. – 360 с.

3. *Голечков Ю.И.* О качественном исследовании движения некоторых технических объектов / Ю.И.Голечков // НТТ – наука и техника транспорта. 2002. №2. С. 21 – 25.
4. *Медель В.Б.* Подвижной состав электрических железных дорог. Конструкция и динамика / В.Б. Медель.–М.: Транспорт, 1974. – 232 с.
5. *Трофимович В.В.* Динамика электроподвижного состава / В.В. Трофимович. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2007, 120 с.
6. *Рубан В.Г.* Решение задач динамики железно-дорожных экипажей в пакете MathCad / В.Г. Рубан, А.М. Матва.– Ростов-на-Дону: Рост. гос. ун-т путей сообщения, 2009. – 99 с.
7. *Ушкалов В.Ф.* Статистическая динамика рельсовых экипажей / В.Ф. Ушкалов, Л.М. Резников, С.Ф. Редько. – К.: Наук. думка, 1982. – 360с.
8. *Камаев В.А.* Оптимизация параметров ходовых частей железнодорожного подвижного состава / В.А. Камаев. – М.: Машиностроение, 1980. – 215 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВАГОНА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЕГО СКОРОСТИ

Е.И. Сухарькова, С.Ю. Руденко

Аннотация – в работе исследовано влияние скорости на параметры математической модели вагона, составленной на основе дифференциальных уравнений для одноосной системы тел с двумя степенями свободы с привлечением метода фазовых портретов в среде пакета Maple.

RESEARCH DYNAMICS OF MATHEMATICAL MODEL CARRIAGE IN DEPENDENCE ON HIS SPEED

E. Suharcova, S. Rudenko

Summary

Influence of speed is Investigational on the parameters of the mathematical model of carriage, made on the basis of differential equalizations for the monaxonic system of bodies with two degrees of freedom with bringing in of method of phase portraits in the environment of package of Maple.