

С.В. Мельничук, к.т.н., доц.
І.І. Самолюк, аспір.

Житомирський державний технологічний університет

МОДЕЛЮВАННЯ ВИМУШЕНИХ КОЛИВАНЬ МАСИ, ПІДРЕСОРЕНОЇ ПІДВІСКОЮ НА ОСНОВІ ЧОТИРИЛАНКОВОГО ВАЖІЛЬНОГО МЕХАНІЗМУ

Представлено математичну модель вимушених коливань маси, підресореної підвіскою на основі чотириланкового важільного механізму. Запропоновано методіку комп'ютерного дослідження вимушених коливань підресореної маси з анімацією рухів підвіски та динамічною побудовою діаграм в інтерактивному режимі часу.

Постановка проблеми. Як відомо [1, 2, 3], параметри коливального процесу підресореної маси визначаються методами динамічного діагностування за власними і вимушеними коливаннями. Діагностування за власними коливаннями в основному проводять для визначення та перевірки параметрів пружного та демпферувального елементів підвіски, що повинні забезпечити необхідні частоту та згасання власних коливань.

Моделювання власних коливань маси, підресореної підвіскою на основі чотириланкового важільного механізму, показано на рис. 1, описані в роботах [4, 5].

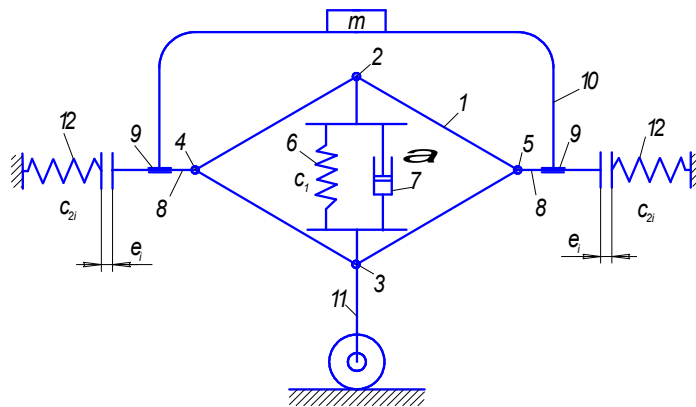


Рис. 1. Кінематична схема пружно-демпферного модуля підвіски транспортного засобу на основі чотириланкового важільного механізму: 1 – чотириланковий важільний механізм; 2, 3, 4, 5 – шарніри; 6 – пружний елемент; 7 – демпферний елемент; 8 – поздовжні горизонтальні напрямні; 9 – підшипники кріплення підресореної маси m ; 10 – кріплення підресореної маси; 11 – кріплення непідресореної маси; 12 – додаткові пружні елементи

Для визначення амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) підвіски проводяться діагностування за вимушеними коливаннями. АЧХ – це графічне зображення функцій переміщення та прискорень підресорених і непідресорених мас автомобіля, що надає наочного уявлення про коливальний процес. Графіки АЧХ дають змогу уявити характер впливу різних конструктивних параметрів підвіски на коливання, дозволяють дослідити зони високочастотного та низькочастотного резонансу.

Метою даної роботи є математичне та комп'ютерне моделювання вимушених коливань маси, підресореної підвіскою на основі чотириланкового важільного механізму (рис. 1).

Досягнення поставленої мети супроводжується розв'язанням наступних задач:

- створення математичної моделі вимушених коливань;
- поставлення комп'ютерного експерименту з дослідження вимушених коливань у програмному середовищі Matlab;
- візуалізація (анімація) коливального процесу в програмному середовищі Matlab;
- автоматизація побудови графіків АЧХ.

Основний зміст. У роботі [5] показано, що власні згасаючі коливання маси, підресореної за схемою рис. 1, описуються нелінійним диференціальним рівнянням:

$$\begin{cases} z + 2n \dot{z} + \frac{2c_1}{m} z + \sum_i \frac{c_{2i}}{m} (kz - e_i) = 0, \\ kz - e_i \geq 0 \end{cases}, \quad (1)$$

де $2n = \frac{2\alpha}{m}$, α – коефіцієнт в'язкого опору демпферного елемента 7, m – величина підресореної маси, c_1 – коефіцієнт жорсткості пружного елемента 6, c_{2i} – коефіцієнт жорсткості i -того додаткового пружного елемента 12; e_i – величина зазору між поздовжньою направляючою та i -тим додатковим пружним елементом, kz – горизонтальне зміщення бічних шарнірів 4 і 5; k – коефіцієнт, що залежить від співвідношення півдіагоналей чотириланкового важільного механізму та кута між ними.

Частота власних коливань підресореної маси в такій системі визначається за формулою:

$$p_2 = \sqrt{\frac{2c_1 + \sum_i c_{2i} (k - \frac{e_i}{z})}{m}}. \quad (2)$$

Для дослідження вимушених коливань підресореної маси необхідно з отриманням АЧХ перейти від однорідного диференціального рівняння (1) до диференціального рівняння з правою частиною, що буде моделювати одиничну нерівність дороги.

Одиничну нерівність профілю дороги теоретично можна задавати [1] у вигляді сходинок з різною кривизною або тригонометричною функцією (рис. 2).

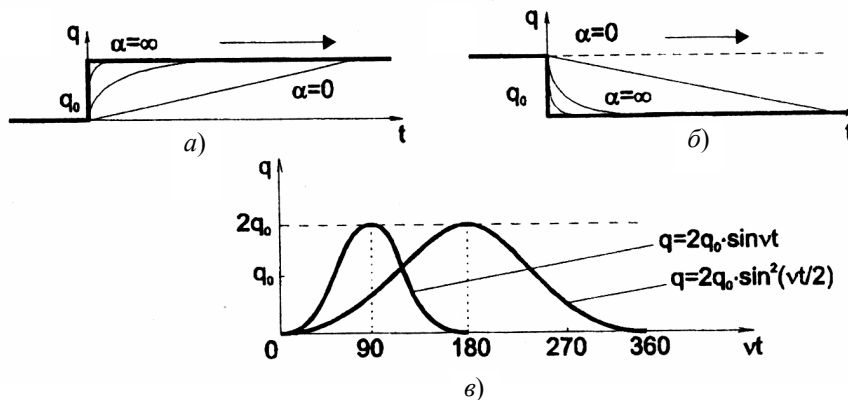


Рис. 2. Моделі нерівностей профілю дороги

Математично кривизну виступу дороги у вигляді сходинок (рис. 2, а) можна апроксимувати експоненціальною залежністю:

$$q = q_0 \cdot (1 - e^{-\alpha_H t}), \quad (3)$$

де q_0 – висота нерівності, α_H – коефіцієнт кривизни профілю нерівності (величина, обернена радіусу кривизни, вимірюється від 0 до ∞). При рівномірному русі пройдений шлях l пропорційний швидкості автомобіля V_a і часу t , тоді $q = q_0 \cdot (1 - e^{-\alpha t})$, де $\alpha = \alpha_H \cdot V_a \text{ c}^{-1}$.

Для впадини (рис. 2, б) $q = q_0 - q_0 \cdot (1 - e^{-\alpha t}) = q_0 \cdot e^{-\alpha t}$.

Синусоїду (рис. 2, в) можна описати виразом:

$$q = 2q_0 \cdot \sin vt, \quad (4)$$

де v – частота збурення, $0 \leq v \leq \pi$, $v = \frac{2 \cdot \pi \cdot V_a}{3,6 \cdot l_H}$, V_a – швидкість автомобіля, км/год, l_H – довжина нерівності. Одиничну нерівність профілю у вигляді синусоїди можна задати залежністю $q = q_0(1 - \cos vt) = 2q_0 \cdot \sin^2 vt/2$, де $0 \leq vt \leq 2\pi$.

При заданні збурення виразом (4) отримуємо диференціальне рівняння вимушених коливань маси, підресореної підвіскою на основі чотириланкового важільного механізму:

$$\begin{cases} \ddot{z} + 2n\dot{z} + \frac{2c_1}{m}z + \sum_i \frac{c_{2i}}{m}(kz - e_i) = 2q_0 \cdot \sin vt \\ kz - e_i \geq 0 \end{cases} \quad (5)$$

Пропонується проведення дослідження коливального процесу за допомогою програмного продукту Matlab та інтерактивної складової Simulink, що дозволяє проводити моделювання в інтерактивному середовищі з “живим” відображенням на екран; слідкувати за процесом досліджень в реальному масштабі часу. Як було показано в роботі [4], Simulink дозволяє створювати ієрархічні структури моделей з необмеженою вкладеністю із великої бібліотеки блоків.

За основу моделювання взято алгоритм та блок-схему Simulink досліджень власних коливань маси, підресореної підвіскою на основі чотириланкового важільного механізму [4]. Блок-схему було доповнено відповідними блоками згідно з диференціальним рівнянням (5) (рис. 3).

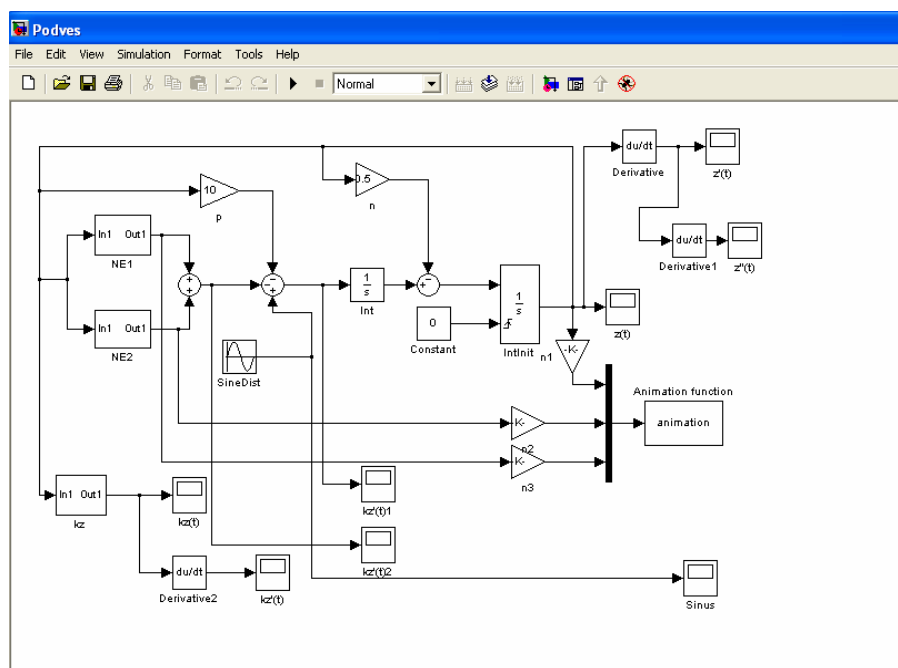


Рис. 3. Блок-схема Simulink

Для зручності досліджень передбачається можливість зміни параметрів коливального модуля підвіски та збурення проводити безпосередньо в робочому вікні програми дослідження (рис. 4). Також у робочому вікні розміщена анімаційна модель коливального модуля та динамічні графіки параметрів коливань, які працюють та будуються в реальному інтерактивному режимі часу.

Matlab дозволяє отримувати автоматично АЧХ і ФЧХ. Для побудови АЧХ в блок-схему Simulink вставляємо блок “Spectrum Analyzer” (рис. 5), який виконує порівняння вихідного й вхідного сигналів за амплітудою і фазою та будує АЧХ і ФЧХ.

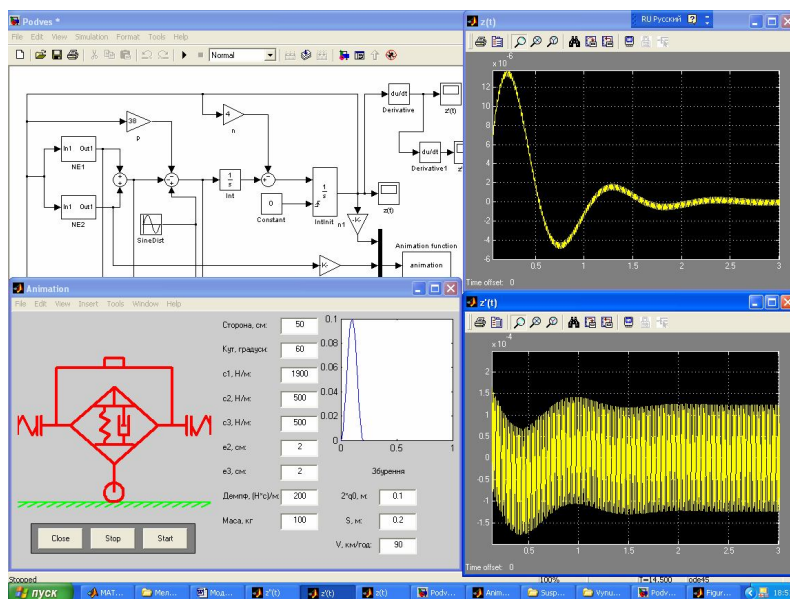


Рис. 4. Робочий стіл програми дослідження вимушених коливань маси, підресореної підвіскою на основі чотириланкового важільного механізму

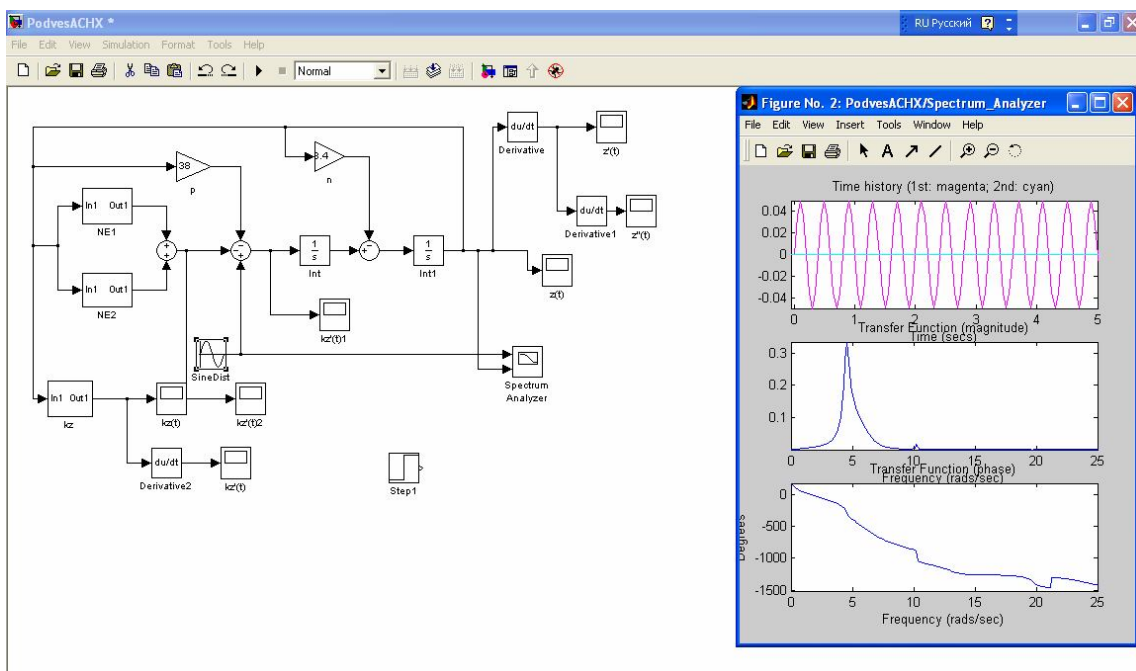


Рис. 5. Блок-схема Simulink отримані АЧХ і ФЧХ

Створена таким чином модель дозволяє:

- проводити динамічні дослідження вимушених коливань маси, підресореної підвіскою на основі чотириланкового важільного механізму;
- візуально слідкувати за коливальним процесом у реальному масштабі часу, глибше проникаючи в суть роботи системи;
- швидко та зручно змінювати параметри коливального модуля та збурення коливань;
- виконувати одночасну зупинку анімаційної моделі та динамічних графіків параметрів коливань у будь-який момент часу, з наступним відновленням їх роботи;
- легко проводити заміну форми збурення шляхом заміни блоків Simulink.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Говорущенко Н.Я., Туренко А.Н.* Системотехніка транспорту (на прикладі автомобільного транспорту). – Харків: РІО ХГАДТУ, 1999. – 468 с.
2. *Копилевич Э.В., Пурник М.А., Федоров С.А.* Диагностика подвески автомобилей. – М.: Транспорт, 1974. – 52 с.
3. *Ротенберг Р.В.* Подвеска автомобиля. – М.: Машиностроение, 1972. – 392 с.
4. *Мельничук С.В., Безпалюк О.В.* Дослідження моделей пружно-демпферних модулів підвіски автомобіля на основі важільного чотириланкового ромбоподібного механізму // Вісник ЖДТУ. – 2004. – № 2 (29).
5. *Мельничук С.В.* Теоретичні основи отримання нелінійної пружної характеристики підвіски автомобіля за допомогою чотириланкового механізму // Вісник ЖДТУ. – 2005. – № 1 (32) – С. 34–38.

МЕЛЬНИЧУК Сергій Володимирович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і механіки технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- плавність ходу автомобіля.

САМОЛЮК Ігор Іванович – аспірант кафедри автоматизації і комп'ютерних технологій Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- математичне моделювання.

Подано 23.12.2006

УДК 629.3.027

Моделирование вынужденных колебаний массы, поддресоренной подвеской на основе четырехзвенного рычажного механизма / С.В. Мельничук, И.И. Самолук.

Представлено математическую модель вынужденных колебаний массы, поддресоренной подвеской на основе четырехзвенного рычажного механизма. Рекомендовано методику компьютерного исследования вынужденных колебаний поддресоренной массы с анимацией движений подвески и динамическим построением диаграм в интерактивном режиме времени.

УДК 629.3.027

Forced vibration modelling of mass by cushioning suspension on the basis of tetralink lever motion / S.V. Melnychuk, I.I. Samolyk

Mathematical model of forced vibration mass which is cushioned by suspension on the basis of tetralink level motion is presented. Computer research technique forced librations of cushioning mass with animation of suspension motions and dynamic construction of diagram in interactive time regime is proposed.