

I.B. КУЗЬО, О.В. ЖИТЕНКО, Г.В. КОСТЕЛЬНИЦЬКА
Національний університет “Львівська політехніка”

РЕАЛІЗАЦІЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ВЕРТИКАЛЬНИХ КОЛИВАНЬ КОЛІСНОЇ МАШИНИ ЗАСОБАМИ MATLAB SIMULINK

© Кузьо I.B., Житенко О.В., Костельницька Г.В., 2011

Наведено підхід до моделювання та імітації роботи динамічних систем для подальшого дослідження, оцінювання та оптимізації їх динамічних якостей.

This paper provides an approach to modeling and simulation of dynamic systems for further investigation, evaluation and optimization of dynamic qualities.

Постановка проблеми. У вітчизняних підприємствах автомобільної промисловості використовуються різноманітні методи для проектування елементів, що відповідають за зниження вібронавантаженості машин і механізмів. Проте в них не повністю враховуються конструктивні та технологічні фактори, а самі засоби розрахунку не використовують повною мірою сучасних можливостей комп'ютерної техніки. Тому для успішної конкуренції з іншими автовиробниками, а також у зв'язку з більш жорсткими вимогами щодо вібронавантаженості водія та пасажирів слід активно використовувати сучасні методи і засоби дослідження та інженерного аналізу.

Одним із таких засобів є Matlab Simulink, що є інтерактивним інструментом для моделювання, імітації та аналізу динамічних систем. В основу пакета прикладних програм покладено модельно-орієнтоване програмування – новий метод для вирішення широкого комплексу задач, що стоять перед розробником техніки. Цей метод об'єднує різні етапи розроблення системи, такі як формування специфікації та системних вимог, імітаційне моделювання, розроблення системи, відлагодження і тестування в безперервний робочий процес. Модельно-орієнтоване проектування допомагає координувати роботу різних груп розробників та дає змогу виявляти помилки на ранніх стадіях, що значно скорочує час та витрати, підвищуючи ефективність проектування.

Аналіз останніх досліджень. Ця робота є логічним продовженням досліджень, результати яких опубліковано у роботах [1–3], проте тут пропонується інший підхід до розв'язання задач із дослідження динаміки машин, а саме реалізація математичних моделей таких систем засобами модельно-орієнтованого програмування. До закордонних публікацій з цієї тематики належать роботи [4–6].

Постановка задачі. Для дослідження вертикальних коливань колісної машини (рис. 1) імітуємо її рух, а саме переїзд через перешкоду прямокутного перерізу, засобами Matlab Simulink. Запишемо рівняння руху такої машини у вигляді (1).

$$\begin{aligned} \ddot{x}_1 &= \frac{1}{M} [c_1 \cdot (x_1 - z_1) + k_1 \cdot (\dot{x}_1 - \dot{z}_1)], \\ \ddot{x}_2 &= \frac{1}{m} [-c_1 \cdot (x_1 - z_1) - k_1 \cdot (\dot{x}_1 - \dot{z}_1) + c_{11} \cdot (q_1 - x_1) + k_{11} \cdot (\dot{q}_1 - \dot{x}_1)], \end{aligned} \quad (1)$$

де z, x_1 – відповідно переміщення підресореної та непідресореної частин машини; c_1, c_{11} – відповідно еквівалентні жорсткості підвіски та шин; k_1, k_{11} – відповідно коефіцієнти в'язкого тертя в підвісці та шинах; q_1 – перешкода прямокутного перерізу; M, m – відповідно маса підресореної та непідресореної частини.

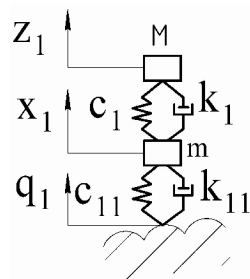


Рис. 1. Спрощена розрахункова схема вертикальних коливань мас машини

Проте в більшості випадків для глибшого дослідження вертикальних коливань та плавності руху необхідно ускладнити розрахункову схему колісного транспортного засобу до такого вигляду (рис. 2).

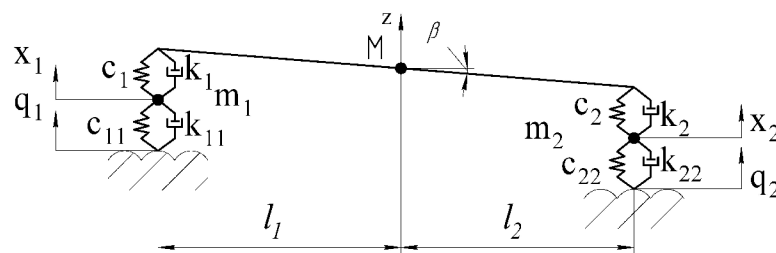


Рис. 2. Спрощена розрахункова схема колісного транспортного засобу

Рівняння руху в такому випадку набудуть вигляду:

$$M \ddot{z} = \frac{1}{M} [c_1 \cdot (x_1 - z + l_1 \cdot b) + k_1 \cdot (\dot{x}_1 - \dot{z} + l_1 \cdot \dot{b}) + c_2 \cdot (x_2 - z - l_2 \cdot b) + k_2 \cdot (\dot{x}_2 - \dot{z} - l_2 \cdot \dot{b})],$$

$$m_1 \ddot{x}_1 = \frac{1}{I} [-l_1 \cdot (c_1 \cdot (x_1 - z + l_1 \cdot b) + k_1 \cdot (\dot{x}_1 - \dot{z} + l_1 \cdot \dot{b})) + l_2 \cdot (c_2 \cdot (x_2 - z - l_2 \cdot b) + k_2 \cdot (\dot{x}_2 - \dot{z} - l_2 \cdot \dot{b}))],$$

$$m_1 \ddot{x}_1 = \frac{1}{m_1} [-c_1 \cdot (x_1 - z + l_1 \cdot b) - k_1 \cdot (\dot{x}_1 - \dot{z} + l_1 \cdot \dot{b}) + c_{11} \cdot (q_1 - x_1) + k_{11} \cdot (\dot{q}_1 - \dot{x}_1)], \quad (2)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 = \frac{1}{m_2} [-c_2 \cdot (x_2 - z - l_2 \cdot b) - k_2 \cdot (\dot{x}_2 - \dot{z} - l_2 \cdot \dot{b}) + c_{22} \cdot (q_2 - x_2) + k_{22} \cdot (\dot{q}_2 - \dot{x}_2)],$$

де z, x_1, x_2, b – відповідно переміщення підресореної та непідресореної частин машини та кут повороту відносно осі, що проходить перпендикулярно до площини рисунка; c_1, c_2, c_{11}, c_{22} – відповідно еквівалентні жорсткості підвіски та шин; k_1, k_2, k_{11}, k_{22} – відповідно коефіцієнти в'язкого тертя в підвісці та шинах; l_1, l_2 – відповідно відстані від переднього та заднього мостів до центра мас.

Виклад основного матеріалу. Блок-схема математичної моделі (1), із вхідними параметрами автомобіля МАЗ-5335, для дослідження вертикальних коливань колісної машини (рис. 1) має вигляд:

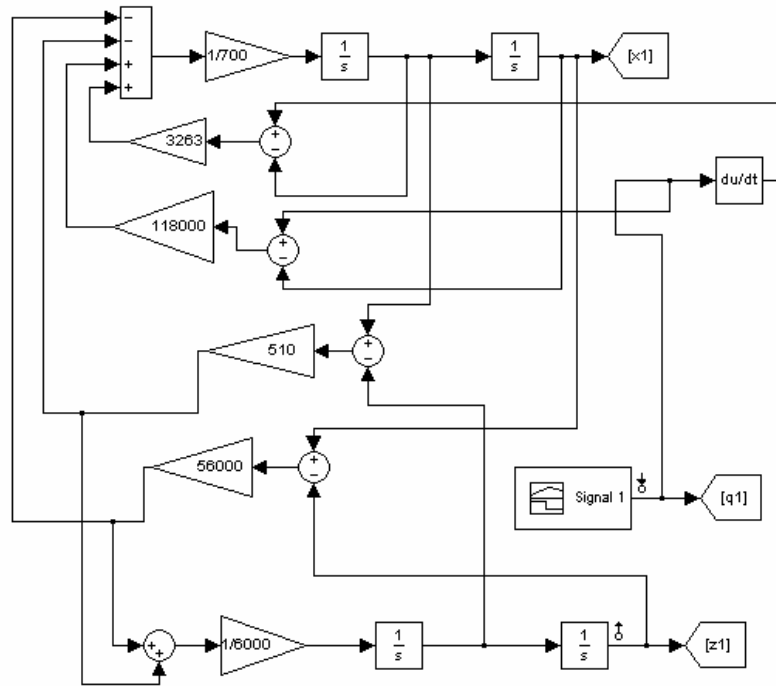


Рис. 3. Блок-схема математичної моделі (1) в середовищі Matlab Simulink

Процес моделювання займає частки секунди, і результати виводяться на екрані електронного осцилографа (рис. 4).

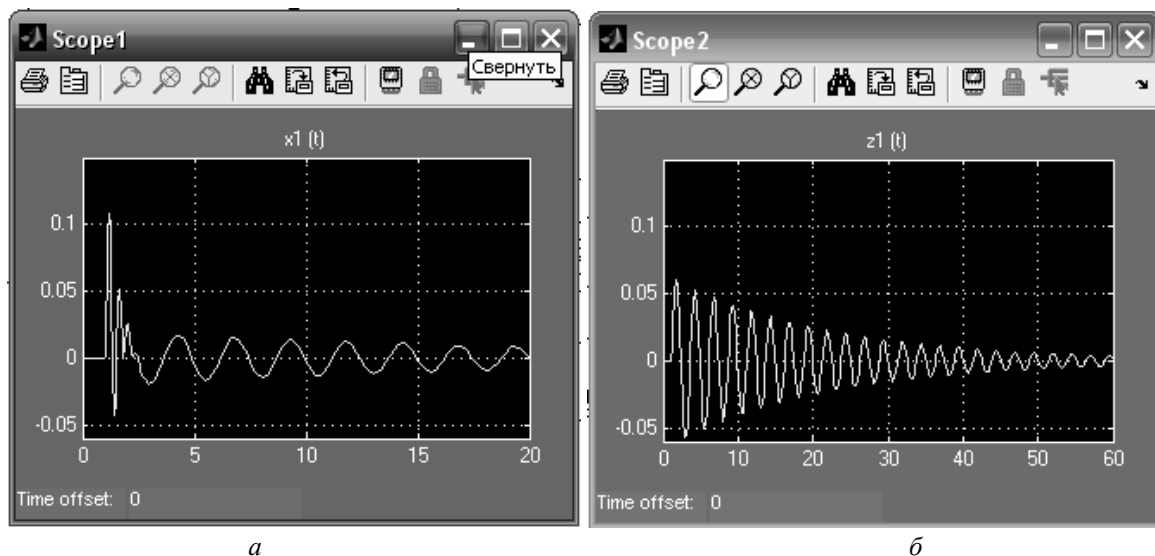


Рис. 4. Коливання невідсорених (а) та відсорених (б) мас автомобіля МАЗ-5335 при переїзді перешкоди прямокутного перерізу зі швидкістю 10 м/с

Блок-схема математичної моделі (2), із вхідними параметрами автомобіля МА3-5335 для дослідження вертикальних коливань колісної машини (рис. 2) має вигляд:

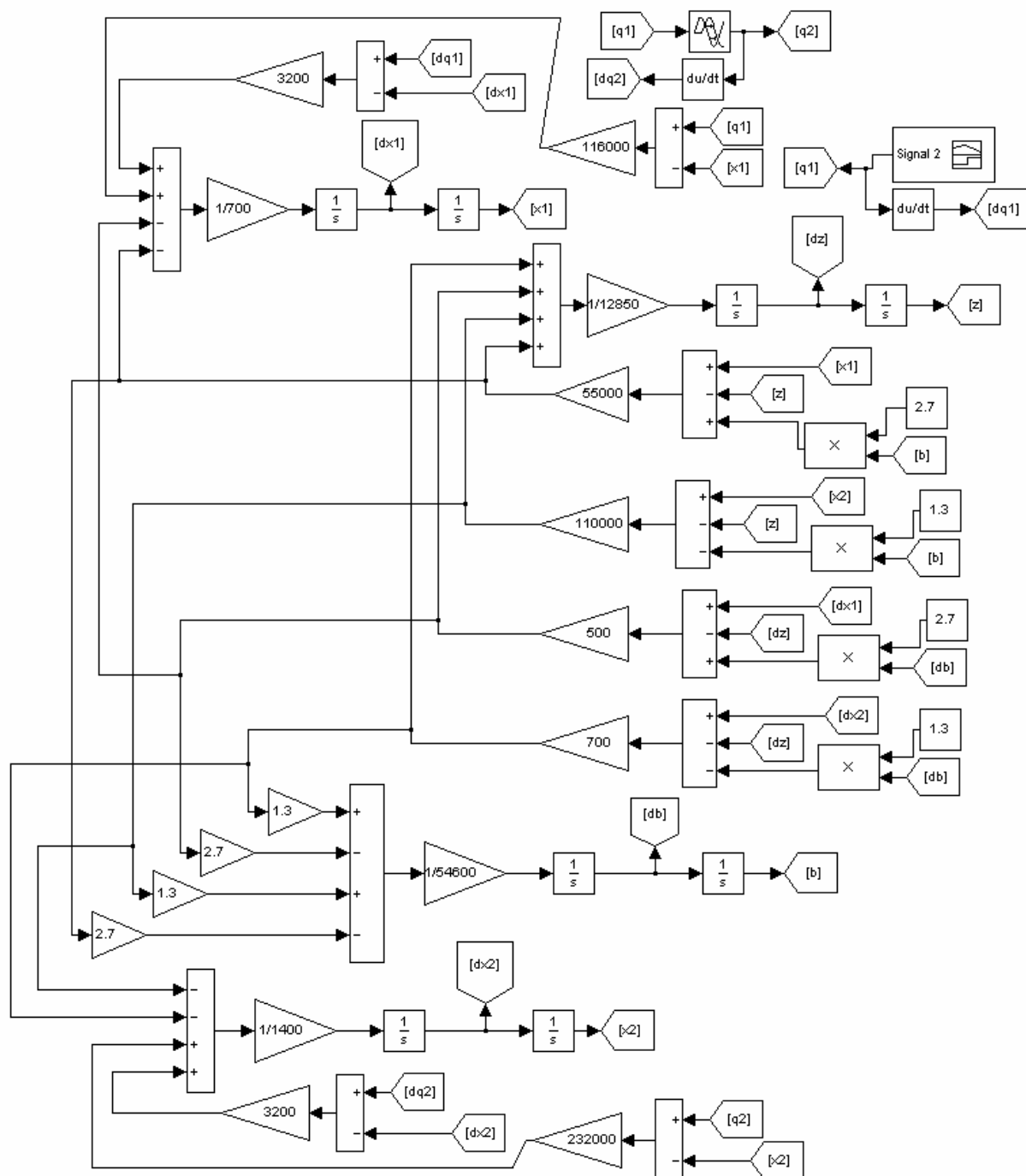


Рис. 5. Блок-схема математичної моделі (2) у середовищі Matlab Simulink

Після закінчення моделювання результати роботи блок-схеми (рис. 5) виводяться на екран електронного осцилографа (рис. 6).

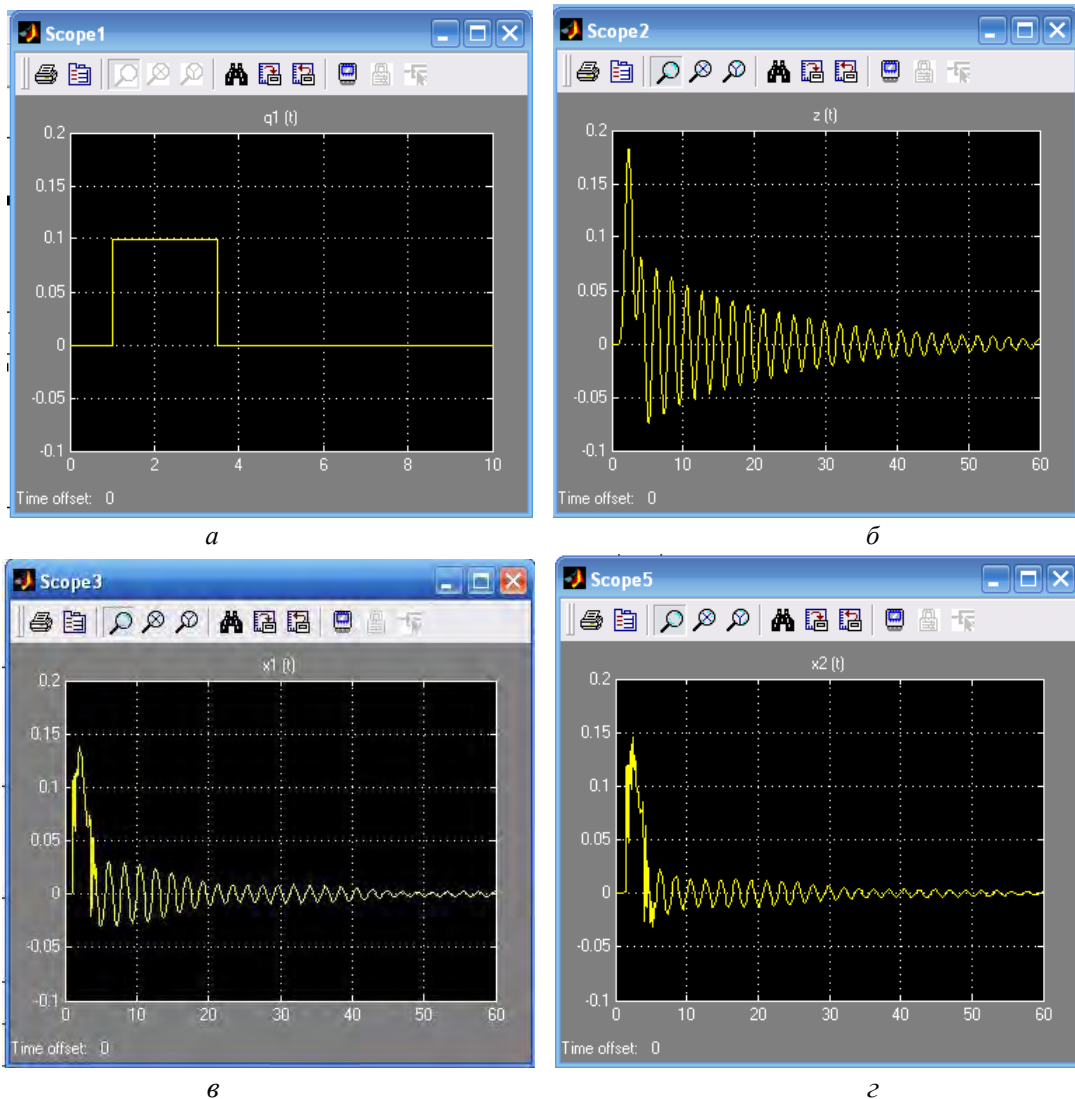


Рис. 6. Коливання підресорених (б) та невідресорених мас (в), (z) автомобіля МАЗ-5335 при переїзді перешкоди прямокутного перерізу (а) зі швидкістю 10 м/с

Висновок. Цей підхід до моделювання дає змогу легко вивчати та швидко оцінювати динамічні якості коливальних систем.

1. Хачатуров А.А. Динамика системы “дорога – шина – автомобиль – водитель”. – М.: Машиностроение, 1976. – 535с.
2. Яценко Н.Н., Прутчиков О.К. Плавность хода грузовых автомобилей. – М.: Машиностроение, 1968. – 219с.
3. Ротенберг Р.В. Подвеска автомобиля. –М.: Машиностроение, 1972-392с.
4. Turkyay S. and Akcaу H. A study of random vibration characteristics of the quarter-car model. *Journal of Sound and Vibration*. 2005, № 282. – P. 111-124.
5. Thompson AG and Davis BR. Computation of the rms state variables and control forces in a half-car model with preview active suspension using spectral decomposition methods. *Journal of Sound and Vibration*. – 2005. – № 285. – P. 571–583.
6. Zhu Q and Ishitobi M. Chaotic vibration of a nonlinear full-vehicle model. *International Journal of Solids and Structures*. 2006, № 43. – P. 747–759.