

УДК 621.326

Михайло Паламар, д.т.н., проф.<sup>1</sup>, Мирослава Яворська, к.т.н., доц.<sup>1</sup>, Володимир Суходольський<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

<sup>2</sup>Національний центр управління і випробування космічних засобів, Україна

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕМІЩЕННЯ КРОКУЮЧОГО РОБОТА

Розглянуто моделювання крокуючого механізму, побудованого на основі системи взаємозв'язаних нелінійних осциляторів.

Ключові слова. Крокуючий робот, S-модель, нелінійний осцилятор.

### Mykhaylo Palamar, Myroslava Yavorska, Volodymyr Sukhodol'skyi THE ROBOT WALKING SIMULATION

The simulation of a stepping mechanism constructed on the basis of a system of interconnected nonlinear oscillators is considered.

Keywords. stepping robot, S-model, nonlinear oscillator.

Розглянуто моделювання в середовищі MATLAB SIMULINK крокуючого механізму, побудованого на основі системи взаємозв'язаних нелінійних осциляторів. Процес переміщення механізму представлено системою диференціальних рівнянь Релея (1) відносно кутів  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ , доповнених співвідношеннями, що враховують зв'язки між ними (рис.1).

$$\begin{aligned}\ddot{\varphi}_1 &= k_1(1 - \varepsilon_1 \dot{\varphi}_1^2) \dot{\varphi}_1 - \omega_1^2(\varphi_1 - \varphi_{10}) + c_{12} \dot{\varphi}_2(\varphi_2 - \varphi_{20}) + c_{13}(\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_3) \\ \ddot{\varphi}_2 &= k_2(1 - \varepsilon_2 \dot{\varphi}_2^2) \dot{\varphi}_2 - \omega_2^2(\varphi_2 - \varphi_{20}) + c_{21} \dot{\varphi}_2(\varphi_1 - \varphi_{10}) + c_{23} \dot{\varphi}_3(\varphi_3 - \varphi_{30}) \\ \ddot{\varphi}_3 &= k_3(1 - \varepsilon_3 \dot{\varphi}_3^2) \dot{\varphi}_3 - \omega_3^2(\varphi_3 - \varphi_{30}) + c_{32} \dot{\varphi}_2(\varphi_2 - \varphi_{20}) + c_{31}(\dot{\varphi}_3 - \dot{\varphi}_1)\end{aligned}\quad (1)$$

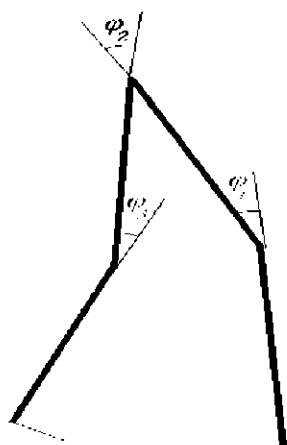


Рис. 1. Вибір змінних для опису процесу переміщення

Для випадку малих значень параметрів  $k, \varepsilon$ , що характеризують нелінійність системи, в [1] динаміку  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$  досліджено за розв'язком (1), знайденим у вигляді гармонічного процесу. Такий підхід виключає з розгляду низку можливих ситуацій, коли нелінійності в системі мають відчутніший вплив.

Запропоноване моделювання часової поведінки  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$  на розробленій на основі (1) S-моделі приведеній на рис.2, дозволяє досліджувати даний процес в ширшому діапазоні зміни параметрів системи.

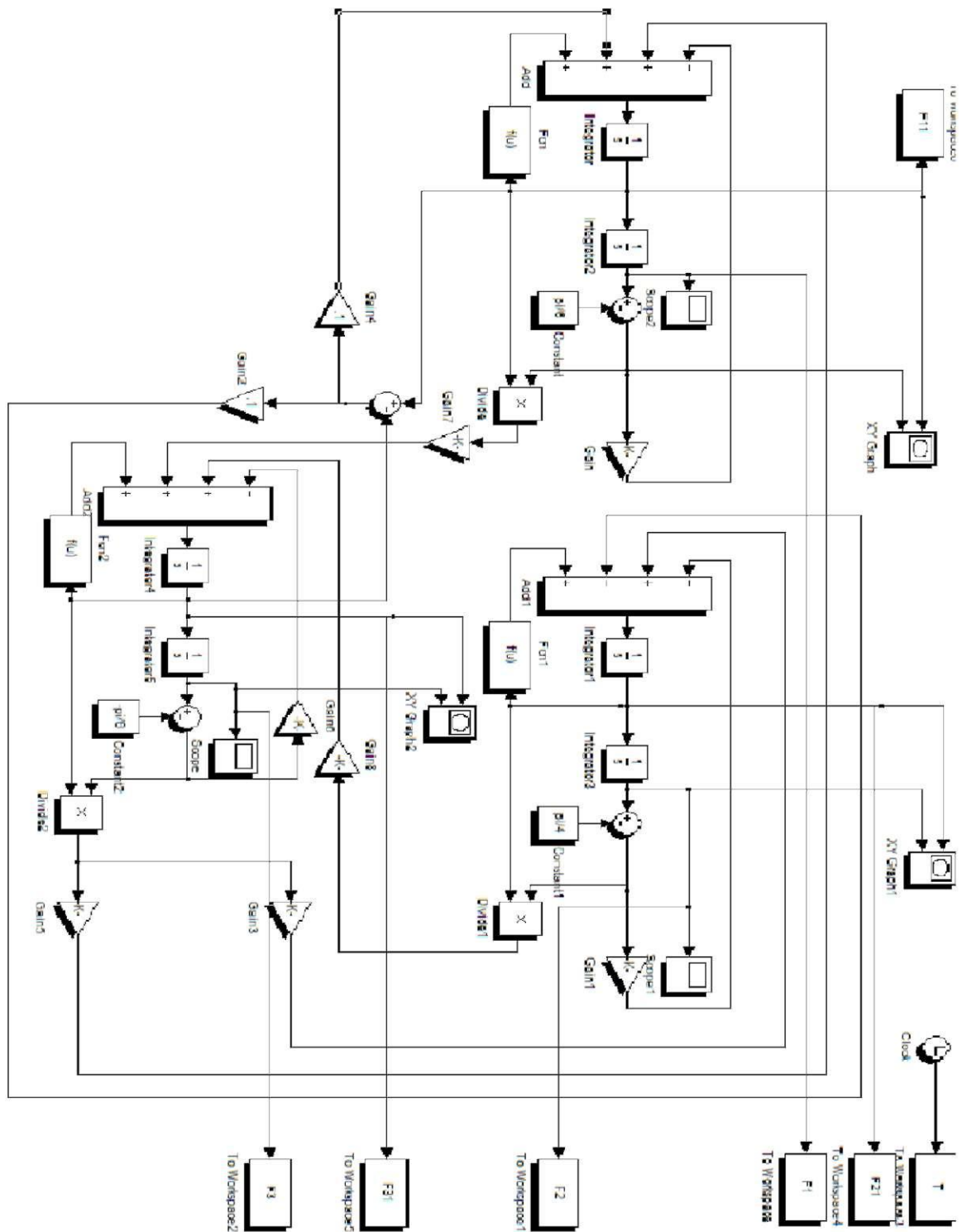


Рис. 2. S -модель крокуючого механізму крокуючого механізму

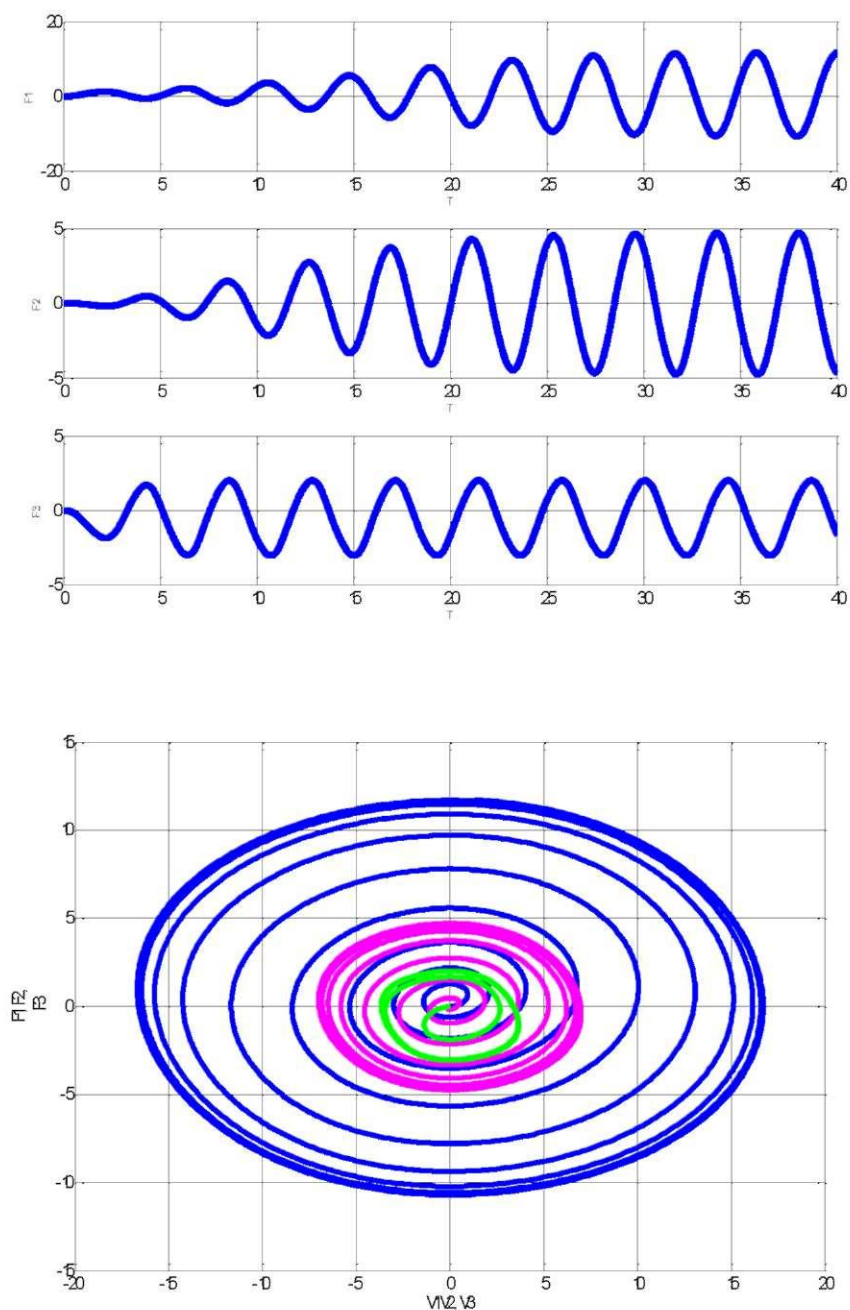


Рис. 3. Зміна  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$ ,  $\varphi_3$  та фазовий портрет системи при переміщенні крокуючого механізму в лінійному режимі

Розроблена модель може служити як для проектування і симулювання системи автоматичного керування крокуючим маніпулятором, так і для демонстрації і вивчення механізму пересування біологічного об'єкта. На рис.3,4 приведено часові залежності для кутів  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$ ,  $\varphi_3$  при пересуванні крокуючого маніпулятора та фазові портрети системи, описаної співвідношеннями (1), в лінійному і нелінійному режимах функціонування. Вона також дозволяє шляхом підбору відповідних параметрів  $k_i$ ,  $\varepsilon_i$ ,  $c_{ij}$   $i, j = 1, 2, 3$  встановлювати оптимальні режими, забезпечувати стійкість

проектованої системи чи вивчати екстремальні випадки поведінки предмету дослідження.

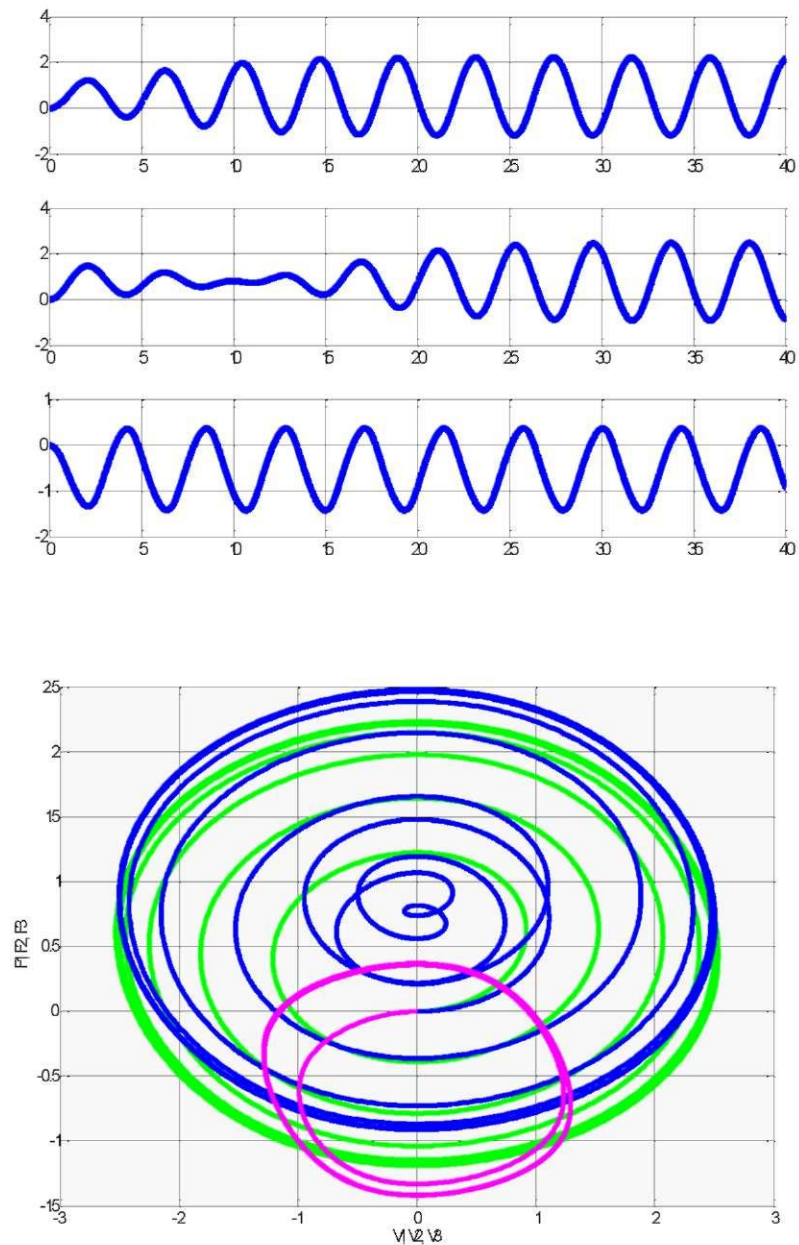


Рис. 4. Зміна  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$ ,  $\varphi_3$  та фазовий портрет системи при переміщенні крокуючого механізму в нелінійному режимі.

### Література

1. Simulating the Hip and Knee Behavior of a Dipped by Means of Nonlinear Oscillators. Armando Carlos