

УДК 004.8:004.056:519.6

Поліновський В.В. к.т.н., доцент
 ТОВ Приватний вищий навчальний заклад
 «УНІВЕРСИТЕТ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ»

ХАОТИЧНА ТА НЕЛІНІЙНА ДИНАМІКА ЯК ІНСТРУМЕНТ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ТА БЕЗПЕКИ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Сучасні інформаційні системи, особливо в умовах кіберфізичних середовищ та IoT-інфраструктур, функціонують у режимі високої динамічної невизначеності [1]. Зростаюча складність загроз, варіативність мережевих топологій та активні атакуючі впливи вимагають застосування адаптивних методів управління, здатних підтримувати стійкість та живучість системи [2]. У цьому контексті хаотичні та нелінійні механізми розглядаються як ефективний інструмент для забезпечення динамічної адаптації, резервування та розсіювання передбачуваності поведінки системи [3].

Для формалізації зазначених процесів стан системи представляється як вектор у багатовимірному просторі станів:

$$x(t) \in \mathbb{R}^n, \quad (1)$$

де n визначає кількість ключових компонент системи, включаючи мережеві вузли, процеси керування та криптографічні параметри. Таке представлення дозволяє математично моделювати еволюцію складних інформаційних потоків у системі.

Еволюція стану під впливом зовнішніх факторів та внутрішніх нелінійних зв'язків описується стохастичним нелінійним рівнянням:

$$\dot{x}(t) = f(x(t), u(t)) + \sigma(x(t))\xi(t), \quad (2)$$

де $f(x(t), u(t))$ – нелінійний оператор еволюції стану, $u(t) \in U \subset \mathbb{R}^m$ – вектор керуючих сигналів, $\sigma(x(t))$ – матриця стохастичних впливів, $\xi(t)$ – білий шум, що моделює непередбачувані зовнішні та внутрішні впливи.

Хаотичні механізми задаються через нелінійні атрактори $A \subset X$, які визначають множинність потенційних траєкторій еволюції:

$$x(t) \in A(u(t)), \quad A = \{x \in X \mid g(x, u) = 0\}, \quad (3)$$

де $g(x, u)$ – нелінійні обмеження, що формують хаотичні динамічні контури, здатні підвищувати стійкість системи та зменшувати передбачуваність її поведінки для потенційного зловмисника.

Задача адаптивного керування формулюється через оптимізацію функціоналу безпеки та стійкості системи:

$$J[u] = E \left[\Phi(x(T)) + \int_0^T C(x(t), u(t)) dt \right], \quad (4)$$

де $\Phi(x(T))$ характеризує кінцеву безпеку та стабільність системи, а $C(x, u)$ – локальні витрати на керування та адаптацію. Стохастичне математичне очікування $E[\cdot]$ враховує невизначеність зовнішніх впливів.

Керуючий сигнал формується як функція стану та історії спостережень:

$$u(t) = K(x(t), H_t), \quad H_t = \{x(s) \mid 0 \leq s \leq t\}, \quad (5)$$

де $K(\cdot)$ – оператор адаптивного керування, що підтримує траєкторії системи в межах хаотичних атракторів та забезпечує контекстно-залежну перебудову алгоритмів і протоколів.

Таким чином, інтеграція хаотичних та нелінійних механізмів у кіберфізичні та IoT-орієнтовані інформаційні системи дозволяє формувати адаптивні, стійкі та живучі контури керування, здатні реагувати на зміну операційного середовища, мінімізувати вплив атак і підтримувати ефективність системи у реальному часі. При цьому представлений математичний апарат забезпечує формалізований та аналітично керований підхід для синтезу таких систем, що є критично важливим для розвитку інформаційних технологій нового покоління.

Список використаних джерел

1. International Organization for Standardization & International Electrotechnical Commission. (2025). ISO/IEC 24760-1:2025 Information security, cybersecurity and privacy protection – A framework for identity management. Part 1: Core concepts and terminology (3rd ed.). <https://www.iso.org/standard/24760-1>.
2. Фесенко Т., Калашнікова Ю. Використання Cisco SecureX для SOC-автоматизації. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2025. № 4 (82). С. 138–143. DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2025.4.138>. URL: <https://journals.nupp.edu.ua/sunz/article/view/4119> (дата звернення: 04.02.2026).
3. Zhyvylo, Y., & Kuchma, Y. (2025). Mathematical modeling of intellectual and cryptographic protection of authentication keys. Collection “Information Technology and Security”, 13(2), 162–177. <https://doi.org/10.20535/2411-1031.2025.13.2.344591>