

НЕЙРОМЕРЕЖЕВЕ МОДЕЛЮВАННЯ СТАНІВ НЕЛІНІЙНИХ ДИСКРЕТНИХ ДЕСКРИПТОРНИХ СИСТЕМ

Анотація. Запропоновано метод моделювання станів нелінійних дескрипторних динамічних систем з дискретним часом на основі використання штучних нейронних мереж. Динаміку системи описано нелінійним векторним різницеvim рівнянням, не розв'язним для стану на наступному кроці за часом. Пробні стани, які залежать від регульованих параметрів (матриць ваг та векторів зміщень), згенеровано за допомогою рекурентної нейронної мережі. Результати проілюстровано на модельних прикладах, зокрема на міжгалузевій моделі виробництва типу Леонтьєва.

Ключові слова: нелінійна дискретна дескрипторна динамічна система, векторне різницеве рівняння, регулярна в'язка матриць, рекурентна нейронна мережа, пробний стан.

DOI 10.34229/KSA2522-9664.26.5.13

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ТА ДОПОМІЖНІ ВІДОМОСТІ

Під час моделювання процесів з дискретним часом, а також дискретизації неперервних моделей для проведення практичних розрахунків використовують дискретні динамічні системи [1, 2]. Математичні моделі таких систем описують за допомогою різницевих рівнянь. Існують ситуації, коли для побудови неперервної математичної моделі, щоб запобігти втраті інформації, потрібно враховувати не тільки диференціальні співвідношення, але й алгебраїчні обмеження. Такі ситуації спостерігаються в електроенергетиці у разі моделювання кіл з алгебраїчними зв'язками, коли струми та напруги задовольняють закони Кірхгофа; в робототехніці для опису динаміки окремих ланок робота; в економіці для побудови сингулярної динамічної моделі Леонтьєва та ін. [3–6]. Динамічні системи, які описують такі процеси з неперервним або дискретним часом, називають дескрипторними.

Розглянемо нелінійну дискретну дескрипторну систему, що описана співвідношеннями

$$Ax_{k+1} + Bx_k = f_k(x_k), \quad k = 0, 1, \dots, N, \quad (1)$$

де $x_k \in \mathbb{R}^n$ — стани системи, A, B — дійсні $n \times n$ -матриці, $f_k: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^n$ — нелінійні функції. Матриця A може бути виродженою, що робить систему дескрипторною. Динамічну міжгалузеву модель Леонтьєва для дослідження проблем економічного зростання [7, 8] з нелінійною залежністю споживання від виробництва можна записати у дескрипторному вигляді (1). Лінійну модель Леонтьєва з неперервним часом для прогнозування перспектив розвитку економіки України було застосовано в [9]. Урахування нелінійності в цій моделі та її подальша дискретизація дає рівняння вигляду (1).

Для нелінійної дескрипторної системи (1) із заданим початковим станом

$$x_0 = a \in \mathbb{R}^n \quad (2)$$

неможливо побудувати траєкторію $\{x_k\}_{k=0}^N$ в явному вигляді, як це зроблено для лінійного випадку в [10, 11]. У монографії [12], у статті [13], а також в інших роботах показано здатність штучних нейронних мереж апроксимувати