

# ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ НЕЛІНІЙНИМ ОБ'ЄКТОМ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет;

## *Анотація*

*Проведено аналіз методів оптимального контролю та керування нелінійним об'єктом, що базується на застосуванні машинного навчання. Визначено ефективність обраних методів для побудови моделі.*

## **Ключові слова:**

*Нелінійний об'єкт, машинне навчання, керування системами, адаптивне управління, глибоке навчання, математичне моделювання, контролер.*

## **Abstract**

*An analysis of the methods of optimal control and management of a nonlinear object based on the application of machine learning was carried out. The effectiveness of the selected methods for building the model was determined.*

## **Keywords:**

*Nonlinear object, machine learning, system control, adaptive control, deep learning, mathematical modeling, controller.*

## **Вступ**

Ефективне управління системами, які проявляють складні нелінійні властивості, визнається ключовим завданням у теорії керування. Вирішення цього завдання стає надзвичайно важливим для різноманітних галузей, включаючи авіаційну, космічну, фінансову та біомедичну сфери в сучасному світі.

Особливо важливим стає використання методів оптимального керування в контексті зростання машинного навчання, яке широко застосовується у науці та техніці. Використання машинного навчання в оптимальному керуванні дозволяє покращити адаптивність, точність і стійкість систем управління, що робить його особливо привабливим для вирішення складних завдань.

Метою даної роботи є проведення аналізу методів оптимального керування нелінійними об'єктами з використанням машинного навчання. Дослідження спрямоване на визначення ефективності використання різних методів машинного навчання для вирішення завдань оптимального керування, а також на визначення їх переваг та обмежень. Робота також розглядає перспективи подальшого розвитку цього напрямку управління.

## **Результати дослідження**

Основна проблема в управлінні системою полягає в тому, як визначити відповідні входи (команди керування), щоб змусити систему змінюватися відповідно до заданих правил. Зокрема, існуючі методи проектування контролерів зі зворотним зв'язком можна розділити на дві категорії: методи на основі помилок і методи на основі моделі. Методи, засновані на помилках, зокрема методи пропорційно-інтегральної похідної (PID), використовують той факт, що вони коригують вхідні дані керування на основі різниці між очікуваними та фактичними результатами та повністю не залежать від загальної динаміки системи. Методи, засновані на помилках, широко використовуються в промисловості, оскільки вони надійні та прості у застосуванні. Однак через неповне врахування динаміки системи ці методи не завжди можуть повністю розкрити потенціал динамічних характеристик системи, а результати контролю, як правило, консервативні та обмежені. Крім того, ефективність керуючих впливів сильно коливається в залежності від параметрів, а їх регулювання вимагає значних зусиль і часу. Щоб подолати ці недоліки, були розроблені вдосконалені підходи, такі як методи PID за розкладом і самоналаштування PID.[1]

В сучасній теорії управління досягнуто значний прогрес у використанні методів, що базуються на моделях. На відміну від підходів, які спираються на помилки, методи, що ґрунтуються на моделях, вивчають загальну динаміку системи та генерують керуючі вхідні дані, які примушують систему змінюватися відповідно до заданих правил. Контролери, побудовані на основі моделі, можуть забезпечити швидке та точне управління, оскільки вони в повній мірі можуть використовувати потенціал динамічних властивостей системи. Тим не менш, ефективність цих переваг суттєво залежить від точності моделі керованого об'єкта. У випадках, коли модель об'єкта є неточною та невизначеною, її ефективність контролю помітно знижується. Для вирішення цієї проблеми використовують нейронні мережі для взаємодії з невідомою динамікою нелінійних систем.[2, 3]

Для вирішення задачі з оптимального керування варто розглянути адаптивний підхід до управління нейронною мережею з метою досягнення точного та надійного контролю над нелінійними системами, які характеризуються невідомою динамікою. На відміну від існуючих модельних підходів, де контролер вимагає необчислювальних вхідних даних, запропонований метод враховує розробку контролера на основі нейронної мережі, що здатний точно прогнозувати керуючі вхідні дані відповідно до вимог системи управління. Для досягнення цієї мети використовуються техніка лінеаризації входу-виходу та розширена техніка моніторингу стану для визначення поточних станів системи. Далі пропонується ітеративний алгоритм навчання контролера, спрямований на тренування наближеної мережі необчислювальних вхідних даних з урахуванням їхніх відмінностей. [4, 5, 6, 7]

### **Висновки**

В результаті проведення дослідження було розглянуто основні проблеми в управлінні системою, проаналізовано можливі методи для вирішення цієї задачі та обрано оптимальний метод керування, що виражається в поєднанні адаптивного підходу до управління нейронною мережею та ітеративного алгоритму навчання контролера.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. I. Carlucho et al.(2017) Incremental q-learning strategy for adaptive pid control of mobile robots
2. W. He (2015) Adaptive neural network control of an uncertain robot with full-state constraints
3. Q. Guo (2019) Neural adaptive backstepping control of a robotic manipulator with prescribed performance constraint
4. Cheng (2019) Real-time control for fuel-optimal moon landing based on an interactive deep reinforcement learning algorithm
5. S. Yin (2020) Low-thrust spacecraft trajectory optimization via a dnn-based method

6. M. Maggioni, J.M. Murphy (2019) Learning by Unsupervised Nonlinear Diffusion

7. F. Lewis, S. Jagannathan, and A. Yesildirak, Neural Network Control of Robot Manipulators and Non-Linear Systems. Philadelphia , PA: CRC press, 2020.

**Щербань Михайло Олександрович** — аспірант групи 174-23а, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [ABBAdon18445@gmail.com](mailto:ABBAdon18445@gmail.com)

**Shcherban Myhailo O.** — Department of intelligent information technologies and automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : [ABBAdon18445@gmail.com](mailto:ABBAdon18445@gmail.com)