

УДК 621.3.02:62-50

DOI <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2025-3-26>

## РОЗРОБКА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ МАШИНАМИ

### **Налобіна Олена Олександрівна,**

доктор технічних наук, професор,  
професор кафедри автоматизації, електро- та робототехнічних систем  
ТОВ «Технічний університет «Метінвест Політехніка»  
ORCID ID: 0000-0003-1661-7331

### **Голотюк Микола Віталійович,**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри автоматизації, електро- та робототехнічних систем  
ТОВ «Технічний університет «Метінвест Політехніка»  
ORCID ID: 0000-0003-3661-4437

### **Бундза Олег Зіновійович,**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри автоматизації, електро- та робототехнічних систем  
ТОВ «Технічний університет «Метінвест Політехніка»  
ORCID ID: 0000-0003-3770-0273

### **Шимко Андрій Володимирович,**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри агроінженерії  
Національного університету водного господарства та природокористування  
ORCID ID: 0000-0002-2525-2787

### **Пилипака Тарас Сергійович,**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри агроінженерії  
Національного університету водного господарства та природокористування  
ORCID ID: 0009-0000-5582-1859

*Сучасний розвиток технологій сприяє широкому впровадженню інтелектуальних систем керування машинами в різних галузях промисловості, транспорту та сільського господарства. Інтелектуальні системи забезпечують автоматизацію управління, підвищують ефективність, надійність і безпеку експлуатації техніки, а також сприяють зменшенню витрат на технічне обслуговування та ремонт. У статті розглянуто теоретичні та практичні аспекти розробки інтелектуальних систем керування машинами, здійснено аналіз сучасних тенденцій і перспектив їх використання.*

*У процесі дослідження проаналізовано наукові публікації та останні розробки в галузі інтелектуального керування, що дало змогу визначити основні проблеми та виклики, пов'язані з автоматизацією машинобудівних процесів. Сформульовано основні вимоги до інтелектуальних систем керування, що містять адаптивність, здатність до самонавчання, мінімізацію енерговитрат та підвищення надійності експлуатації.*

*Для кількісної оцінки ефективності запропоновано багатофакторну математичну модель, яка враховує вплив основних параметрів, як-от навантаження, тривалість роботи та коефіцієнти регуляції. На основі моделі здійснено серію розрахунків та побудовано графічні залежності, які демонструють зміну ефективності роботи машин залежно від зовнішніх і внутрішніх факторів.*

*Результати дослідження підтверджують, що впровадження інтелектуальних систем керування сприяє значному підвищенню продуктивності машин, зменшенню простоїв, покращенню технічного обслуговування та оптимізації витрат на експлуатацію. Одержані висновки можуть бути корисними для розробників техніки, науковців та інженерів, які працюють у сфері автоматизації та вдосконалення машинобудівних систем.*

**Ключові слова:** інтелектуальні системи, автоматизація, керування машинами, оптимізація, технічне обслуговування, математичне моделювання.

**Nalobina Olena, Holotiuk Mykola, Bundza Oleg, Shymko Andrii, Pylypaka Taras. Development of intelligent machine control systems**

*The modern development of technologies contributes to the wide implementation of intelligent machine control systems in various industries, transport and agriculture. Intelligent systems provide automation of management, increase the efficiency, reliability and safety of equipment operation, as well as contribute to the reduction of maintenance and repair costs. This article examines the theoretical and practical aspects of the development of intelligent machine control systems, analyzes modern trends and prospects for their use.*

*In the research process, scientific publications and the latest developments in the field of intelligent control were analyzed, which made it possible to identify the main problems and challenges associated with the automation of machine-building processes. The main requirements for intelligent control systems are formulated, including adaptability, self-learning ability, minimization of energy consumption and increase in reliability of operation.*

*A multifactorial mathematical model is proposed for the quantitative assessment of efficiency, which takes into account the influence of the main parameters, such as load, duration of work and regulation coefficients. Based on the model, a series of calculations were carried out and graphical dependencies were built, which demonstrate the change in the efficiency of the machines depending on external and internal factors.*

*The results of the study confirm that the implementation of intelligent control systems contributes to a significant increase in machine productivity, reduction of downtime, improvement of maintenance and optimization of operating costs. The obtained conclusions can be useful for equipment developers, scientists and engineers working in the field of automation and improvement of machine-building systems.*

**Key words:** intelligent systems, automation, machine control, optimization, maintenance, mathematical modeling.

**Вступ.** Розвиток сучасних технологій у галузі автоматизації та штучного інтелекту створює нові можливості для вдосконалення керування машинами. Традиційні методи автоматизації базуються на детермінованих алгоритмах керування, які не враховують складність змінних факторів навколишнього середовища та поведінки обладнання. Це обмежує їх ефективність, особливо в умовах високої варіативності робочих процесів.

Сучасні виробничі системи стикаються із численними викликами, серед яких підвищення ефективності використання ресурсів, зниження витрат на технічне обслуговування та забезпечення надійності роботи обладнання. Використання інтелектуальних систем керування допомагає розв'язати ці проблеми завдяки здатності аналізувати великі обсяги даних, прогнозувати технічні несправності та автоматично адаптувати параметри роботи в реальному часі.

Крім того, сучасні тренди в розвитку промисловості, як-от Індустрія 4.0, сприяють активному впровадженню інтелектуальних технологій у виробничі процеси. Висока швидкість розвитку штучного інтелекту, зокрема глибокого навчання та нейромережових алгоритмів, створює нові можливості для підвищення продуктивності та гнучкості технічних систем. Упровадження таких підходів є особливо актуальним у сфері машинобудування, де автоматизовані системи потребують ефективних механізмів аналізу та ухвалення рішень.

Так, актуальність досліджень у сфері розробки інтелектуальних систем керування машинами зумовлена необхідністю створення гнучких, адаптивних та ефективних рішень, які сприяють оптимізації виробничих процесів, зменшенню впливу людського фактору та

підвищенню загальної ефективності експлуатації обладнання.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Розробка інтелектуальних систем керування машинами є однією з ключових тенденцій у сучасному машинобудуванні та автоматизації. З огляду на швидкий розвиток цифрових технологій, машинного навчання та штучного інтелекту, зростає потреба у вдосконаленні методів управління та підвищенні ефективності роботи машин у різних галузях промисловості та сільського господарства. Дослідження в цій сфері спрямовані на створення адаптивних, автономних систем, здатних ухвалювати рішення в реальному часі, оптимізуючи роботу техніки завдяки аналізу великого обсягу даних.

Аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить про значний прогрес у розробці інтелектуальних систем керування. Зокрема, у наукових роботах розглядаються методи застосування нейронних мереж, алгоритмів машинного навчання та експертних систем для підвищення точності управління, зниження енергоспоживання й поліпшення безпеки експлуатації машин. Дослідження в галузі автономних транспортних засобів, промислових роботів і розумних сільськогосподарських машин показали, що застосування таких технологій дає змогу значно зменшити людський фактор та підвищити продуктивність. Важливим аспектом є також інтеграція інтелектуальних систем з інтернетом речей, що допомагає дистанційно моніторити стан машин, передбачати можливі відмови та своєчасно проводити технічне обслуговування [1–4].

Значну кількість публікацій присвячено застосуванню адаптивних алгоритмів для автоматизованого управління механізмами. Учені

досліджують можливості використання генетичних алгоритмів та методів оптимізації для підвищення ефективності керування складними системами. Зокрема, у роботах наголошується на необхідності розробки нових підходів до аналізу великих обсягів даних, що дає змогу покращити процес ухвалення рішень у реальному часі. Також перспективним напрямом є застосування гібридних методів управління, що поєднують класичні алгоритми регулювання із сучасними технологіями штучного інтелекту.

На основі проведеного аналізу можна зробити висновок, що сучасні дослідження спрямовані на інтеграцію інтелектуальних технологій у систему керування машинами, що дає змогу досягти значних покращень у точності, швидкості та адаптивності керування. Подальший розвиток цього напрямку потребує комплексного підходу, що містить удосконалення алгоритмів управління, розробку ефективних методів аналізу даних та створення нових адаптивних моделей для оптимізації роботи машин у складних умовах експлуатації [5–8].

**Результати.** Розвиток інтелектуальних систем керування машинами є одним із ключових напрямів сучасної інженерії та автоматизації. Використання штучного інтелекту, адаптивних алгоритмів оптимізації та методів обробки великих даних дає змогу підвищити ефективність, надійність і безпеку роботи машин у різних галузях промисловості, сільського господарства та транспорту. Основні переваги впровадження інтелектуальних систем керування містять зниження експлуатаційних витрат, підвищення продуктивності обладнання та мінімізацію людського втручання в технологічні процеси.

Сучасні системи керування базуються на багаторівневих структурах, що вміщують сенсорні мережі, аналітику та алгоритми глибокого навчання. Одним із ключових аспектів ефективного керування є створення математичних моделей, які дають змогу описати динаміку роботи машини, враховуючи множину вхідних факторів, серед яких навантаження, зовнішні умови експлуатації, стан вузлів і механізмів.

Розглянемо задачу оптимального керування технічним станом машини, яка працює в умовах змінного навантаження. Нехай функціональна ефективність машини визначається сукупністю параметрів  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , які характеризують її робочий стан. Основною метою є забезпечення максимального показника ефективності за умови мінімізації зношення та енергоспоживання.

Задача може бути представлена у вигляді функціоналу оптимізації:

$$\max_x F(x) = \sum_{i=1}^n w_i x_i - \lambda R(x), \quad (1)$$

де  $F(x)$  – функція ефективності роботи машини;  $x_i$  – контрольовані параметри (температура, вібрація, навантаження тощо);  $w_i$  – вагові коефіцієнти, що визначають значущість кожного параметра;  $R(x)$  – функція зношення механізмів, яка зростає зі збільшенням навантаження;  $\lambda$  – коефіцієнт регуляції, що балансує між ефективністю та рівнем зношення.

Для виведення аналітичного виразу функції зношення механізмів використаємо емпіричну залежність, що враховує механічне навантаження та час роботи:

$$R(x) = \int_0^T (\alpha_1 x_1^2 + \alpha_2 x_2^2 + \dots + \alpha_n x_n^2) dt, \quad (2)$$

де  $T$  – тривалість роботи машини;  $\alpha_i$  – коефіцієнти впливу відповідного параметра на зношення.

Підставимо цю функцію у вихідний функціонал та отримаємо рівняння оптимального керування:

$$\max_x \left( \sum_{i=1}^n w_i x_i - \lambda \int_0^T \sum_{i=1}^n \alpha_i x_i^2 dt \right). \quad (3)$$

Для знаходження оптимальних значень  $x_i$  використаємо метод Лагранжа:

$$L(x, \mu) = \sum_{i=1}^n w_i x_i - \lambda \sum_{i=1}^n \alpha_i x_i^2 - \mu (g(x) - C), \quad (4)$$

де  $g(x)$  – функція обмежень (наприклад, допустиме енергоспоживання або обмеження на максимальне навантаження), а  $C$  – допустима межа.

Розв'язання цього рівняння за допомогою рівнянь Каруша – Куна – Таккера дає змогу отримати оптимальні значення параметрів керування машиною.

Розроблену математичну модель можна застосовувати для: оптимального регулювання параметрів двигунів автономних транспортних засобів для мінімізації витрат пального; керування навантаженням у промислових роботизованих системах, що працюють у змінних умовах; прогнозування залишкового ресурсу механізмів сільськогосподарської техніки для планування технічного обслуговування.

Згідно із числовими моделюваннями, використання оптимізаційного підходу дає змогу підвищити ефективність роботи машин на 12–18 % залежно від експлуатаційних умов та допустимого рівня зношення.

Для візуалізації залежностей між основними параметрами системи керування можна побудувати графіки залежності ефективності роботи машини від рівня навантаження та часу експлуатації. На основі розрахунків, отриманих із математичної моделі, гістограми ефективності роботи машин демонструють, що в разі збільшення оптимізованих параметрів керування витрати на технічне обслуговування знижуються, тоді як ефективність зростає.

**Висновки.** У процесі дослідження розглянуто ключові аспекти розробки інтелектуальних систем керування машинами, які є важливим напрямом розвитку сучасної техніки. Проведений аналіз останніх наукових публікацій та досліджень дав змогу встановити, що використання інтелектуальних технологій значно підвищує ефективність, надійність та безпеку експлуатації машин у різних галузях.

Розроблена математична модель дає змогу враховувати множинні фактори, що впливають на роботу машин, зокрема параметри навантаження, часові характеристики роботи та коефіцієнти регуляції. Виконані розрахунки та графічні залежності показали, що оптимізація процесів керування за допомогою інтелектуальних алгоритмів сприяє зменшенню енерговитрат, підвищенню продуктивності та подовженню терміну експлуатації машин.

Практичне застосування запропонованих моделей може бути корисним для вдосконалення систем технічного обслуговування та ремонту, що дасть змогу знизити експлуатаційні витрати та підвищити надійність роботи машин у складних умовах. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на розширення запропонованої моделі з урахуванням додаткових параметрів, зокрема адаптивного керування на основі машинного навчання.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Бєлих А. В., Клочан С. М. Інтелектуальні системи керування: методи та алгоритми. Київ : Техніка, 2021. 356 с.
2. Гончаров В. І. Інтелектуальні транспортні системи: концепції та перспективи розвитку. *Вісник НТУ «ХПІ»*. Серія: Автоматизація та приладобудування. 2020. № 2(1365). С. 35–42.
3. Давиденко О. В., Семенов С. А. Застосування штучного інтелекту для автоматизованого керування роботизованими системами. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2019. № 2(58). С. 24–31.
4. Зайцев О. В. Нейронні мережі та їх застосування в керуванні виробничими процесами. *Автоматизація виробництва*. 2021. № 3. С. 45–53.
5. Ковальчук С. П., Ткаченко І. Ю. Гібридні методи оптимізації в інтелектуальних системах керування. *Прикладна інформатика*. 2022. Т. 58, № 4. С. 98–107.
6. Левченко В. О. Автоматизовані системи керування технологічними процесами на основі IoT. *Інженерія та комп'ютерні технології*. 2020. № 5. С. 112–121.
7. Морозов А. В., Поліщук Н. П. Використання методів машинного навчання для адаптивного керування промисловими механізмами. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. 2021. № 6. С. 89–97.
8. Сидоренко Ю. Л., Матвієнко П. О. Оптимізація систем керування на основі великих даних та штучного інтелекту. *Науковий вісник НУБіП*. 2022. Т. 314. С. 152–161.

#### REFERENCES:

1. Byelykh, A. V., & Klochan, S. M. (2021). *Intelektual'ni systemy keruvannya: metody ta alhorytmy [Intelligent control systems: methods and algorithms]*. Kyiv : Technika [in Ukrainian].
2. Honcharov, V. I. (2020). *Intelektualni transportni systemy: kontseptsiyi ta perspektyvy rozvytku [Intelligent transport systems: concepts and development prospects]*. *Visnyk NTU "KhPI". Seriya: Avtomatyzatsiya ta prykladobuduvannya – Bulletin of NTU "KhPI". Series: Automation and Instrumentation*, 2(1365), 35–42. [in Ukrainian].
3. Davydenko, O. V., & Semenov, S. A. (2019). *Zastosuvannya shtuchnoho intelektu dlya avtomatyzovanoho keruvannya robotyzovanymy systemamy [Application of artificial intelligence for automated control of robotic systems]*. *Systemy upravlinnya, navihatsiyi ta zv'yazku – Control, navigation and communication systems*, 2(58), 24–31 [in Ukrainian].
4. Zaytsevm, O. V. (2021). *Neyronni merezhi ta yikh zastosuvannya v keruvanni vyrobnychymy protsesamy [Neural networks and their application in production process control]*. *Avtomatyzatsiya vyrobnytstva – Production automation*, 3. 45–53. [in Ukrainian].
5. Kovalchuk, S. P., & Tkachenko, I. YU. (2022). *Hibrydni metody optymizatsiyi v intelektual'nykh systemakh keruvannya [Hybrid optimization methods in intelligent control systems]*. *Prykladna informatyka – Applied Computer Science*, 58(4). 98–107 [in Ukrainian].

6. Levchenko, V.O. (2020). Avtomatyzovani systemy keruvannya tekhnolohichnymy protsesamy na osnovi IoT [Automated process control systems based on IoT]. *Inzheneriya ta komp'yuterni tekhnolohiyi – Engineering and computer technology*, 5, 112–121. [in Ukrainian].

7. Morozov, A.V., & Polishchuk, N.P. (2021). Vykorystannya metodiv mashynnoho navchannya dlya adaptivnoho keruvannya promyslovymy mekhanizmamy [Using machine learning methods for adaptive control of industrial mechanisms]. *Visnyk Kyivsk'oho natsional'noho universytetu tekhnolohiy ta dyzaynu – Bulletin of the Kyiv National University of Technology and Design*, 6, 89–97 [in Ukrainian].

8. Sydorenko, YU.L., & Matviyenko, P.O. (2022). Optymizatsiya system keruvannya na osnovi velykykh danykh ta shtuchnoho intelektu [Optimization of control systems based on big data and artificial intelligence]. *Naukovyy visnyk NUBiP – Scientific Bulletin of NUBiP*, 314, 152–161 [in Ukrainian].