



ЛУЦЬКИЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

IX МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

ТК-2026

«ПРОГРЕСИВНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ
АВТОМАТИЗОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ»

м. Луцьк, УКРАЇНА
28-30 травня 2026 року



LUTSK
NATIONAL
TECHNICAL
UNIVERSITY

**З ВІРОЮ У ПЕРЕМОГУ
ТА УКРАЇНУ!**

COLLECTION OF SCIENTIFIC REPORTS

IX INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL CONFERENCE

ТК-2026

«PROGRESSIVE DIRECTIONS OF THE DEVELOPMENT
OF AUTOMATED TECHNOLOGICAL COMPLEXES»

Lutsk, UKRAINE

May 28-30, 2026

МИ РАДІ ВІТАТИ ВАС У ЛНТУ!

Починаючи з 2010 року, науковці з різних куточків України та світу збираються для обговорення прогресивних напрямків розвитку автоматичних технологічних комплексів та мехатронних роботизованих систем. Цьогоріч теж не стали відмовлятися від онлайн-зустрічі, адже в умовах війни спілкування є дуже важливими як і для науковців, так і для підтримки наших Збройних Сил України.

Особливості проведення наукових досліджень в Україні в умовах військового стану заслуговують на повагу та допомогу міжнародного товариства. Плідна, конструктивна робота, в ім'я здоров'я, збереження сили духу всіх нас і нашої патріотично налаштованої молоді тільки сприятиме розвитку України та науки зокрема.

Сьогодні наука, особливо технічна, виступає на своєму фронті, поруч з нашою армією, у війні з російськими окупантами.

Кращі доповіді будуть рекомендовані до публікації у науковому журналі «Перспективні технології та прилади» або «Наукові нотатки за 2026 рік. Повний текст рекомендованої статті повинен бути оформлений автором згідно вимог журналу, які розміщені на сайті

Адміністрація Луцького національного технічного університету, науковці нашого ЗВО та команда IX Міжнародної науково-технічної конференції з проблем вищої освіти і науки ТК-2026 «Прогресивні напрямки розвитку автоматизованих технологічних комплексів» щиро вітає учасників конференції та впевнена у цікавій, науковій, корисній роботі, впевненості миру нам у завтрашньому дні і перемозі України.

***Ми впевнені, що наступного разу всі зустрінемося
у мирному форматі!***

ГОЛОВА ПРОГРАМНОГО КОМІТЕТУ:

ВАХОВИЧ Ірина Михайлівна, ректор ЛНТУ, д.е.н., професор
Луцький національний технічний університет

ЗАСТУПНИК ГОЛОВИ ПРОГРАМНОГО КОМІТЕТУ:

ЛЮТАК Олена Миколаївна, проректор ЛНТУ, д.е.н., професор
КУЗНЕЦОВ Юрій Миколайович, д.т.н., професор НТУ України «КПІ»



МІЖНАРОДНИЙ ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ:

prof., DSc., **LUÍS FRÖLÉN RIBEIRO** (Bragança Polytechnic Institute, PORTUGAL);
prof. Dr hab. inż. **Antoni ŚWIĆ** (Politechnika Lubelska, POLAND);
prof. DSc., **Andriy KUTSYK** (Rzeszow University of Technology, POLAND);
prof., DSc, **Jordan MAXIMOV** (Technical University of Gabrovo, BULGARIA);
prof., DSc, **Joaquim A.G. HAMUYELA** (Agostiniao Neto University, Luanda, ANGOLA);
prof., DSc, **Michał BEMBENEK** (AGH University of Science and Technology, POLAND);
assoc. Prof. Dr. **Cumhur Gökhan ÜNLÜ** (Pamukkale University, TURKEY).

НАЦІОНАЛЬНИЙ ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ:

д.т.н., проф. **СТРУТИНСЬКИЙ В.Б.** (НТУ України «Київський політехнічний інститут»);
д.т.н., проф. **СОКОЛЕНКО А.І.** (Національний університет харчових технологій);
д.т.н., проф. **ЛАРШИН В.П.** (Одеський національний політехнічний університет);
д.т.н., проф. **КИРИЛОВИЧ В.А.** (Державний університет «Житомирська політехніка»);
д.т.н., проф. **РЕГЕЙ І.І.** (Українська академія друкарства, м. Львів);
д.т.н., проф. **СЕНЬКІВСЬКИЙ В.М.** (Українська академія друкарства, м. Львів);
д.т.н., проф. **СТОЦЬКО З.А.** (Національний університет «Львівська політехніка»);
д.т.н., проф. **ПІСТУН Е.П.** (Національний університет «Львівська політехніка»);
д.т.н., проф. **МАТИКО Ф.Д.** (Національний університет «Львівська політехніка»);
д.т.н., проф. **ФЕДОРИШИН Р.М.** (Національний університет «Львівська політехніка»);
д.т.н., проф. **МАРЧУК В.І.** (Луцький національний технічний університет);
д.т.н., проф. **ПОЛІЩУК Л.К.** (Вінницький національний технічний університет);
к.т.н., доц. **САПОН С.П.** (Національний університет «Чернігівська політехніка»);
к.т.н., доц. **ЗАБОЛОТНИЙ О.В.** (Луцький національний технічний університет).

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ:

Голова організаційного комітету –
ПАЛЬЧЕВСЬКИЙ Богдан Олексійович, д.т.н., професор;
Заступник голови організаційного комітету –
ЛАПЧЕНКО Юрій Сергійович, к.т.н., доцент;
КОНДІУС Інна Степанівна, к.е.н., доцент;
ТКАЧУК Анатолій Анатолійович, к.т.н., доцент;
ГУМЕНЮК Лариса Олександрівна, к.т.н., доцент;
ВАЛЕЦЬКИЙ Богдан Петрович, к.т.н., доцент;
ДЕНИСЮК Віктор Юрійович, к.т.н., доцент;
КАЙДИК Олег Леонтійович, к.т.н., доцент;
ПТАШЕНЧУК Віталій Віталійович, к.т.н., доцент;
РЕШЕТИЛО Олександр Миколайович, к.т.н., доцент;
МАРКІНА Людмила Миколаївна, к.т.н., доцент.



ЗМІСТ

CONTENTS

**Секція 1. Інтелектуальні
виробничі системи. Розумне
виробництво в умовах
індустрії 4.0 та індустрії 5.0**

**Section 1. Intelligent
manufacturing systems.
Smart manufacturing in
the context of Industry
4.0 and Industry 5.0**

Huliieva N. M., Samchuk L. M., Prydalnyi B. I., Sychuk V. A., Karpus S. H.

Information technology as the basis for the development of Industry 4.0..... 9

Лука О. В., Мідик А.-В. В.

OSINT-орієнтована аналітика даних у цифрових виробництвах INDUSTRY 4.0..... 13

Пальчевський Б. О.

Особливості архітектури інтелектуального технологічного обладнання..... 15

Хмелівський Ю. С., Іванчук Я. В.

Порівняльний аналіз ANFIS та глибоких нейромереж у задачах нелінійної регресії..... 18

**Секція 2. Системи
автоматичного керування та
діагностування
технологічних комплексів**

**Section 2. Automatic control
and diagnostics systems
for technological
complexes**

Варениця В. С., Курка Р. Р.

Автоматична система керування згинанням картонної тари на базі стандартного ПЛК..... 21

Гальчук Т. Н.

Сучасні тенденції в технології контролю обробки зубчастих коліс 23

Гончаров М. К., Мацишин Я. В., Варениця В. В.

Автоматизоване керування системами кондиціонування повітря з використанням протоколу MODBUS RTU 25

Гончарук Ю. В., Денисюк В. Ю.

Автоматизована система керування процесом комбінованої обробки сферичних поверхонь..... 28

Денисюк В. Ю.

Аналіз похибок у системах автоматичного розмірного контролю технологічних комплексів..... 30

Іваненко Р. О., Діордіца І. М., Волошко О. В.	
Автоматизація технологічної підготовки виробництва.....	32
Іванишин Т. В., Криштанович В. І., Валюх О. А.	
Двоканальна багатозв'язана система автоматичного регулювання процесу сушіння деревини в конвективній сушарці періодичної дії	34
Ілів А. М., Іванишин Т. В., Озимок Ю. І.	
Структура та формалізація системи автоматичного керування процесом електроімпульсного зміцнювання різальних інструментів.....	37
Коваленко І. О.	
Методи проміжного перетворення як основа підвищення точності цифрових вимірювань.....	40
Лукін О. В., Науменко С. В., Розломій І. О.	
Метод автоматичного діагностування стану біологічних об'єктів у іот системах з блокчейн підтвердженням.....	42
Маркіна Л. М., Сацик В. О.	
Перспективи впровадження робастного керування та цифрових технологій у виробництві етанолу.....	44
Мороз С. А., Лишук В. В., Чалий В. Д.	
Апаратне забезпечення акустико-емісійної діагностики при обробці металів.....	47
Поберейко Б. П., Мисик М. М., Валюх О. А.	
Особливості застосування методу найменших квадратів для ідентифікації динамічних параметрів об'єктів керування.....	49
Рибіцький І. В., Головатюк О. І., Войтенко С. С., Запека В. Ю.	
Розроблення інформаційно-вимірювальної системи для автоматизованого контролю артилерійських стволів.....	53
Самутін О. В., Денисюк В. Ю.	
Автоматизована система керування процесом подрібнення цементного клінкеру на основі прогнозуючих моделей.....	55
Чалий В. Д., Мороз С. А.	
Діагностика технологічного процесу точного машинобудування....	57

Секція 3. Інформаційно-вимірювальні системи моніторингу автоматизованих технологічних систем

Section 3. Information and measuring systems for monitoring automated technological systems

Antonyuk V. S., Vysloukh S. P., Voloshko O. V.	
Modeling and optimization of production systems operation.....	60

Ostafiichuk T. S.

Information-measurement assessment of effective efficiency of thermistor power sensors for microwave signals 62

Бандурка А. М.

Удосконалення оцінки технічного стану зенітної самохідної артилерійської установки Gepard 1A2 шляхом впровадження штучних нейронних мереж..... 64

Кохан О. С., Дядюра К. О.

Автоматизація контролю показників якості активованого вугілля 66

Курка Р. Р., Поберейко Б. П.

Інтеграція засобів контролю напруженого стану деревини у типову автоматизовану систему керування процесом сушіння..... 68

Лапченко Ю. С., Столярук М. С.

Розробка алгоритму та структури системи автоматичної стабілізації тягового фактора в умовах нерівномірного навантаження..... 70

Романчук А. Г., Яворський А. В.

Моніторинг та вимірювальні технології в управлінні мікрокліматом громадських будівель в умовах дефіциту енергоресурсів..... 72

Яворський А. В., Карпаш М. О., Максим'юк С. О.

Цифрові платформи моніторингу відновлюваної енергетики як інструмент енергоефективності розумного міста..... 74

Яворський А. В., Цих В. С., Парандій Р. Б.

Універсальна інформаційно-вимірювальна система моніторингу мережевої фотоелектричної станції на базі інтелектуальних приладів smart-MAIC..... 76

Секція 4. Мехатронні та роботизовані комплекси

Section 4. Mechatronics and robotic complexes

Валецький Б. П.

Застосування роботизованих систем у складській логістиці..... 79

Денисюк В. Ю.

Мехатронний модуль мікропереміщень двокоординатного столика на базі біморфних п'єзоактюаторів..... 81

Кирилович В. А., Підтиченко О. В., Яновський В. А.

Нечіткий багатокритеріальний вибір альтернатив в іт сфері: серединний випадок 83

Мідик А.-В. В., Лиса О. В.

Інтелектуальні роботизовані комплекси з підтримкою OSINT-даних..... 85

**Секція 5. Функціональні
елементи сучасних
технологічних комплексів**

**Section 5. Functional elements of
modern technological
complexes**

Решетило О. М., Сацук В. О.

Методи боротьби з безпілотними літальними апаратами, що
використовують оптоволоконний канал керування..... 88

**Секція 1. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ВИРОБНИЧІ
СИСТЕМИ. РОЗУМНЕ ВИРОБНИЦТВО В
УМОВАХ ІНДУСТРІЇ 4.0 ТА
ІНДУСТРІЇ 5.0**

**Section 1. INTELLIGENT MANUFACTURING
SYSTEMS. SMART MANUFACTURING IN
THE CONTEXT OF INDUSTRY 4.0 AND
INDUSTRY 5.0**

УДК 681.518.5

N. M. Huliieva, Ph.D. Engineering Sciences, Associate Professor**L. M. Samchuk**, Ph.D. Engineering Sciences, Associate Professor**B. I. Prydalnyi**, Ph.D. Engineering Sciences, Associate Professor**V. A. Sychuk**, Ph.D. Engineering Sciences, Associate Professor**S. H. Karpus**, Ph.D. Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor*Lutsk National Technical University*

INFORMATION TECHNOLOGY AS THE BASIS FOR THE DEVELOPMENT OF INDUSTRY 4.0

The development of Industry 4.0 is one of the main directions of industrial modernization, which determines the transformation of traditional production systems into high-tech, digital and intelligent production [1]. Mechanical engineering as a basic industry plays a strategic role in shaping the technological potential of the state, as it ensures the production of equipment, machinery, engineering systems and infrastructure solutions for various sectors of the economy [2]. In the context of global digitalization, the implementation of the Industry 4.0 concept in mechanical engineering becomes a necessary condition for increasing the competitiveness of enterprises, optimizing production processes and integrating into global production systems [3].

Industry 4.0 is characterized by the introduction of cyber-physical systems, artificial intelligence, the Internet of Things (IoT), big data, cloud technologies, robotics, and digital twins into production processes. In mechanical engineering, these technologies enable the creation of so-called “smart manufacturing,” where equipment, software systems, and analytical tools function as a single integrated digital system [4]. This allows for automated control of production lines, prediction of equipment condition, optimization of resource utilization, and improvement of product quality.

One of the main trends in the development of Industry 4.0 in mechanical engineering is the digitalization of production processes [5]. It involves the transition from traditional production methods to digital control systems based on real-time data collection and analysis. Thanks to the integration of sensors, automated control systems and analytical platforms, enterprises are able to control all stages of the production process – from design to the release of finished products. This helps to increase the transparency of production, reduce production costs and

minimize technological processes.

An important aspect of development is the introduction of artificial intelligence (AI) technologies. AI is used to analyze large amounts of production data, predict equipment failures, automatically control quality and optimize production processes. The use of intelligent algorithms allows enterprises to carry out predictive maintenance (Predictive Maintenance), which significantly reduces equipment downtime and increases the efficiency of its operation. In addition, AI systems facilitate management decision-making based on data analytics, which increases the flexibility of production systems.

Another important direction is the use of digital twins. A digital twin is a virtual model of a product, equipment or production line, which allows you to simulate production processes, test modernization and optimize technological processes without risk to real production. In modern conditions, digital twins are used to design complex engineering systems, optimize technological parameters and increase the accuracy of engineering calculations.

In mechanical engineering, industrial robots are used to perform complex technological operations, such as welding, machining of parts, assembly of assemblies and product quality control. Automation of production operations allows you to increase labor productivity, reduce the impact of the human factor and ensure stable product quality. Robotic systems in combination with artificial intelligence form the basis of flexible production systems that can quickly adapt to changes in demand and technological conditions.

In the context of digital transformation, mechanical engineering enterprises are gradually moving to the concept of a "smart factory" (Smart Factory), which involves the full integration of digital technologies into the production system. Smart Factory is characterized by a high level of automation, autonomy of production processes and the use of intelligent control systems. Such enterprises are able to independently adapt production processes to changes in the external environment, optimize production resources and ensure high production efficiency.

The implementation of Industry 4.0 technologies in the mechanical engineering of Ukraine is shown in Fig. 1. The largest share of 20 % is the Internet of Things (IoT). This includes equipment monitoring, sensor systems. A little less, namely 18 %, are cyber-physical systems as automated production lines. Cloud technologies make up 16%, which are used to store and process production data. Artificial intelligence is at 15

%. Where production optimization, product quality control is performed. Analytics of production processes is carried out when processing big data (Big Data) and is 14 %. Robotics is at 12 %, which includes automation, welding, assembly. Digital twins make up the smallest share, only 5% are used in modeling products and processes.

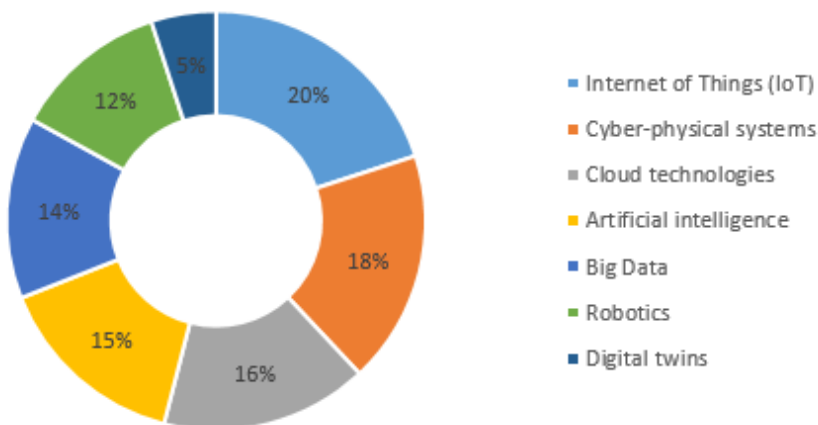


Figure 1 – Application of technologies in mechanical engineering in Ukraine

However, the development of Industry 4.0 in mechanical engineering is accompanied by a number of problems. The main ones include the high cost of implementing digital technologies, the need to modernize outdated equipment, the shortage of qualified personnel and the insufficient level of digital infrastructure. Many enterprises face difficulties in integrating the latest technologies into existing production systems, which requires significant investments and organizational changes.

The prospects for the development of Industry 4.0 in mechanical engineering are associated with the further improvement of digital technologies, the expansion of the use of artificial intelligence, robotics and cyber-physical systems. In the long term, the formation of fully autonomous production systems capable of self-learning, self-diagnosis and independent decision-making is expected. This will contribute to increasing production efficiency, reducing costs and creating an innovative industrial ecosystem.

Thus, the development of Industry 4.0 in mechanical engineering is a strategic direction of industrial modernization, which ensures an increase

in the technological level of enterprises, optimization of production processes and integration into the global digital economy. The introduction of intelligent technologies, automation and digital production systems creates the prerequisites for the formation of a competitive mechanical engineering sector capable of functioning effectively in the conditions of digital transformation of the economy and technological development of society.

References:

1. Lypych L., Khilukha O., Kushnir M. Changing the business model of enterprise under the influence of industry 4.0. *Economic Forum*. 2023. 13(3). P. 119-127. DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2308-8559-2023-3-15>.
2. Huliieva N.M. Peculiarities of the development of the fourth industrial revolution "Industry 4.0". *Ricerche scientifiche e metodi della loro realizzazione: esperienza mondiale e realta domestiche*: Raccolta di articoli scientifici «ΑΟΓΟΣ» con gli atti della II Conferenza scientifica e pratica internazionale (T. 2), Bologna, 12 novembre 2021. Bologna Vinnytsia, 2021. P. 30-31. DOI: <https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/logos/article/view/16158>
3. Dalmarco G., Ramalho F.R., Barros A.C., Soares A.L. Providing industry 4.0 technologies: The case of a production technology cluster. *High Technology Management Research*, 2019. 30(2). P. 100355. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.hitech.2019.100355>.
4. Misra N.N., Dixit Y., Al-Mallahi A., Bhullar M.S., Upadhyay R., Martynenko A. IoT, big data, and artificial intelligence in agriculture and food industry. *IEEE Internet of Things Journal*. 2022. 9(9). P. 6305-6324 DOI: <https://doi.org/10.1109/jiot.2020.2998584>.
5. Huliieva, N., Huliieva, Z. Regulatory and legal basis of robotic systems in the mechanical engineering industry. *Progressive Directions of Technological Complexes Development*: Collection of Scientific Reports of VII-th International scientific and technical conference devoted to problems of higher education and science TK-2022. Lutsk, Ukraine May 28-30, 2022. P. 34-35.

УДК 004.89:658.52.011.56:004.65

О. В. Лиса, канд. техн. наук, доцент*Львівський національний університет Ветеринарної
Медицини та Біотехнологій імені С.З. Гжицького***А.-В. В. Мідик**, канд. техн. наук*Львівський державний університет внутрішніх справ*

OSINT-ОРІЄНТОВАНА АНАЛІТИКА ДАНИХ У ЦИФРОВИХ ВИРОБНИЦТВАХ INDUSTRY 4.0

Розвиток концепції Industry 4.0 супроводжується переходом від ізольованих систем автоматизації до інтегрованих кіберфізичних виробничих середовищ, у яких технологічне обладнання, системи керування та аналітичні платформи функціонують у єдиному інформаційному просторі. У структурі сучасного цифрового виробництва важливу роль відіграють PLC-контролери, SCADA/HMI-системи, IoT-давачі, MES-рівень та засоби промислової аналітики, які забезпечують безперервне накопичення технологічних даних у реальному часі. Традиційні системи моніторингу здебільшого використовують лише внутрішні джерела інформації, що обмежує можливість оцінювання зовнішніх факторів впливу на виробничий процес.

Одним із перспективних напрямів розвитку інтелектуальних виробничих систем, на нашу думку, є інтеграція OSINT (Open Source Intelligence) у контури промислової аналітики та підтримки прийняття рішень. На відміну від класичних підходів до диспетчеризації та технологічного контролю, OSINT дозволяє залучати відкриті джерела інформації: технічні бази відмов обладнання, сервісні бюлетені виробників, дані про інциденти на аналогічних виробництвах, науково-технічні публікації, логістичні та енергетичні показники. У результаті формується додатковий інформаційний рівень, який розширює можливості систем автоматизованого керування.

Практична інтеграція OSINT у цифрове виробництво полягає у поєднанні зовнішніх інформаційних потоків із внутрішніми технологічними параметрами, що надходять від давачів температури, тиску, витрати, вібрації та виконавчих механізмів. Наприклад, у системах охолодження технологічних ємностей аналіз відкритих даних про режими роботи аналогічних установок дозволяє адаптувати алгоритми регулювання до зміни зовнішніх

температурних умов. У дозувальних системах або шнекових транспортерах OSINT-аналітика дає можливість виявляти типові причини деградації приводів і підшипникових вузлів ще до виникнення критичних відмов. Аналогічно, аналіз глобальної статистики експлуатації частотних перетворювачів дозволяє коригувати режими частотного керування для зменшення перегріву двигунів та енергоспоживання.

Особливого значення набуває використання методів машинного навчання та NLP-аналізу для обробки неструктурованих OSINT-даних. У процесі аналітики виконується очищення, нормалізація та синхронізація внутрішніх виробничих даних із зовнішніми інформаційними джерелами. Це дозволяє формувати прогностичні моделі деградації обладнання, виявляти приховані аномалії технологічних процесів та оцінювати ризики експлуатації. Система може автоматично формувати попередження про необхідність заміни приводів після досягнення характерного ресурсу роботи, виявленого на основі аналізу аналогічних виробничих систем у відкритих джерелах.

Крім задач технічної діагностики, OSINT-аналітика може використовуватись для оцінювання логістичних та енергетичних ризиків. Дані про дефіцит електронних компонентів, затримки постачання PLC-модулів або коливання енергетичних тарифів дозволяють своєчасно коригувати виробничі графіки та режими роботи обладнання. Таким чином, система автоматизації отримує можливість реагувати не лише на локальні параметри технологічного процесу, але й на зовнішній виробничий контекст.

Список використаних джерел:

1. Aggarwal C. C. Neural Networks and Deep Learning. – Cham : Springer, 2018. – 497 p.

ОСОБЛИВОСТІ АРХІТЕКТУРИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

Перехід від автоматизованих машин до кіберфізичних систем Industry 4.0 та Industry 5.0 супроводжується суттєвим збільшенням кількості сенсорних каналів, необхідних для реалізації функцій моніторингу стану, прогнозування відмов, цифрового двійника, енергоефективності та взаємодії людини і машини.

Сучасні технологічні машини буквально “обрастають” датчиками. Це одна з ключових ознак переходу від класичної автоматизації до концепцій Industry 4.0 та Industrial Internet of Things. Одна машина може мати не лише датчики керування, а й датчики стану, енергоспоживання, вібрацій, температур, акустики, зору (computer vision), положення, навантаження, якості продукту, мережевої діагностики. Середня кількість датчиків в технологічній машині в залежності від року її випуску наведена на рисунку 1.

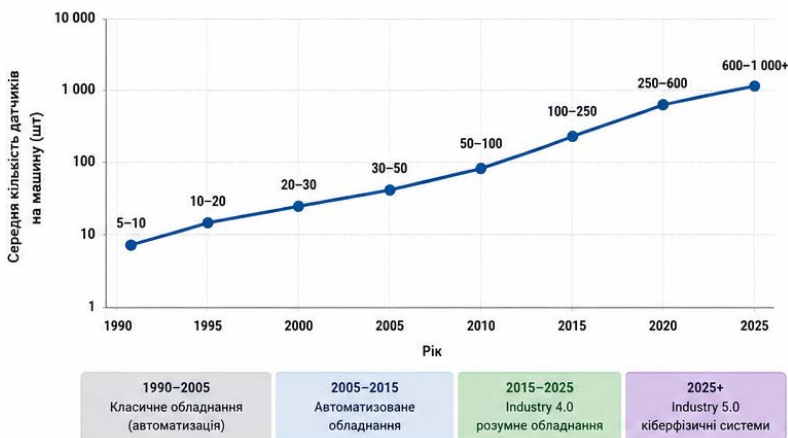


Рисунок 1 – Середня кількість датчиків на одну машину

Типова кількість датчиків в класичне обладнанні (1990–2005 роки) складала 10–30 датчиків. В основному це були кінцевики, фотоелементи, енкодери, датчики тиску, температури, які використовувались для автоматичне керування.

Кількість датчиків в автоматизованому обладнанні (2005–2015 роки) вже складала 30–100 датчиків. Окрім задач автоматичного керування додаються функції контролю якості, серводіагностика, моніторинг двигунів, HMI/SCADA.

В сучасному інтелектуальному обладнанні в рамках Industry 4.0 (2015–2026 роки) сучасні “розумні” машини мають від 100 до більше 1000 сенсорних каналів. Особливо це характерно для роботизованих ліній в фармацевтиці, харчовій промисловості, виробництві напівпровідників, автомобільній промисловості. Така машина контролює власний стан, якість робочого процесу, витрату енергії, прогноз відмов.

Як бачимо, середня кількість датчиків зростає майже експоненційно завдяки IoT, автоматизації, штучному інтелекту, введенні прогнозного обслуговування та використання цифрових двійників при експлуатації машини.

Найбільше датчиків в склад САК додає система прогнозного технічного обслуговування (**Predictive Maintenance**). Predictive maintenance зараз є найпоширенішим IoT-застосуванням у виробництві. Для цього на кожен вузол додають датчики температури, вібрації, акустики, струму, стану оливи. Це потрібно для забезпечення прогнозу відмов, оцінки залишкового терміну роботи (RUL), побудови і функціонування цифрового двійника. Залишковий ресурс (RUL = Remaining Useful Life) визначається наступним чином. Коли стан вузла погіршується, датчики це фіксують, ML/статистика оцінює тренд деградації і система прогнозує "через N годин буде критичний стан".

Загальна послідовність переходу:

“датчики → AI → цифровий двійник → прогноз RUL”

Цифровий двійник (**Digital Twin**) потребує повної телеметрії машини. Тому в склад системи моніторингу додають додаткові датчики положення, тензодатчики, датчики крутного моменту, інерційний модуль (ІМУ), бездротові датчики. Цифровий двійник — це динамічна математична та інформаційна модель машини, яка синхронізується з реальним обладнанням через датчики. **Digital Twin** “живе” разом із машиною. Він знає стан вузлів; бачить їх деградацію; оцінює навантаження; прогнозує відмови; моделює майбутню поведінку.

Можна вважати, що основною закономірністю розвитку сучасного обладнання є те, що машина, яка раніше тільки виконувала робочий процес, то тепер машина одночасно вимірює

себе, аналізує себе, прогнозує відмови, навчає ШІ, буде цифровий двійник. Сучасна машина вже не просто виконує технологічний процес. Вона безперервно створює цифровий потік даних, на основі якого формується:

- цифровий двійник (Digital Twin),
- прогноз технічного стану,
- оцінка RUL (Remaining Useful Life),
- predictive maintenance.

Найважливіша сучасна ідея: якщо раніше автоматизація керувала машиною, то тепер «AI керує ризиком деградації машини». Це фундаментальна зміна Industry 4.0 → 5.0. Зростання кількості сенсорних каналів у сучасному технологічному обладнанні забезпечує перехід від класичної автоматизації до кіберфізичних систем із функціями цифрового двійника, прогнозування деградації та оцінки залишкового ресурсу (RUL).

Список використаних джерел:

1. Bogdan Palchevskiy, Lyubov Krestyanpol. APPLICATION OF PREDICTIVE MAINTENANCE IN THE PACKAGING PRODUCTION / Informatyka, Automatyka, Pomiarы w Gospodarce i Ochronie Środowiska – IAPGOS, № 3, 2022, pp. 27–33. <http://doi.org/10.35784/iapgos.3051> (Scopus)

2. B.Palchevskiy, L. Krestianpol. The Use of the “Digital Twin” Concept for Proactive Diagnosis of Technological Packaging Systems. *Data Stream Mining & Processing. DSMP 2020. Communications in Computer and Information Science*, Vol. 1158. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-61656-4_29 (Scopus).

3. Palchevskiy, B and Krestyanpol, L. “Strategy of Construction of Intellectual Production Systems.” IEEE Third International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP), Lviv, Ukraine, 2020, PP. 362–365, doi:10.1109/DSMP47368.2020.9204190. (Scopus)

УДК 004.8

Ю. С. Хмелівський, аспірант

Я. В. Іванчук, докт. техн. наук, професор

Вінницький національний технічний університет

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ANFIS ТА ГЛИБОКИХ НЕЙРОМЕРЕЖ У ЗАДАЧАХ НЕЛІНІЙНОЇ РЕГРЕСІЇ

Задачі нелінійної регресії відіграють важливу роль у сучасних системах штучного інтелекту, зокрема при моделюванні складних процесів, що характеризуються невизначеністю, зашумленістю та нелінійними залежностями. Глибокі нейронні мережі забезпечують високу точність апроксимації, однак їх використання ускладнюється низькою інтерпретованістю та потребою у великих обсягах даних. Натомість нейро-нечіткі моделі, такі як ANFIS, дозволяють поєднати навчальні властивості нейронних мереж із можливістю формалізації знань у вигляді нечітких правил.[1]

Актуальним є дослідження ефективності цих підходів з урахуванням оптимізації структури моделі та впливу характеристик даних на якість прогнозування.

У роботі проведено експериментальне дослідження ефективності моделей ANFIS та глибокої нейронної мережі типу багат шарового перцептрона у задачі апроксимації нелінійної функції. Вхідні дані формувались із додаванням випадкового шуму, що дозволило оцінити стійкість моделей до невизначеності.[2]

Для ANFIS реалізовано механізм навчання з використанням методу найменших квадратів для визначення параметрів наслідкових функцій та кластеризації для ініціалізації функцій належності. З метою підвищення ефективності моделі запропоновано використання генетичного алгоритму для оптимізації кількості нечітких правил.[3] У процесі еволюції оцінювалась якість моделі за критерієм середньоквадратичної помилки.

Дослідження проводилось для різних обсягів вибірки (100, 300 та 1000 спостережень), що дозволило проаналізувати вплив кількості даних на ефективність моделей. Отримані результати показали, що ANFIS без оптимізації демонструє стабільну, але обмежену точність, тоді як використання генетичного алгоритму дозволяє суттєво покращити результати за рахунок адаптивного підбору структури моделі. При малих обсягах даних оптимізована

ANFIS перевершує глибоку нейронну мережу за точністю та стійкістю до шуму.

Зі збільшенням обсягу вибірки глибока нейронна мережа демонструє вищу точність апроксимації складних залежностей, що обумовлено її високою апроксимаційною здатністю. Водночас такі моделі залишаються менш інтерпретованими порівняно з нейро-нечіткими системами.

Таблиця 1 – Результати експериментів (MSE)

Розмір	MLP	ANFIS	ANFIS+GA
100	0.22	0.34	0.21
300	0.15	0.27	0.15
1000	0.12	0.22	0.12

Проведене дослідження показало, що ефективність моделей у задачах нелінійної регресії залежить від обсягу даних та структури моделі. Використання генетичного алгоритму для оптимізації кількості нечітких правил дозволяє підвищити точність ANFIS і розширити область її ефективного застосування. Нейро-нечіткі моделі є доцільними для задач із обмеженим обсягом даних та вимогами до інтерпретованості, тоді як глибокі нейронні мережі більш ефективні для великих вибірок.

Список використаних джерел:

1. Fuzzy neural networks and neuro-fuzzy networks: A review the main techniques and applications used in the literature / A. K. S. Ahmed, M. A. Hossain, M. F. Hossain та ін. // *Applied Soft Computing*. – 2020. – Vol. 95. – Article 106507. – Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1568494620302155>
2. Стародуб О. В., Олійник В. В. Гібридний алгоритм навчання ANFIS-подібних нейромереж у задачах управління // *Адаптивні системи автоматичного керування*. – 2018. – № 2(33). – С. 45–54. – Режим доступу: <https://asac.kpi.ua/article/view/117715>
3. Talpur N., Abdulkadir S. J., Alhussian H., Hasan M. H., Aziz N., Bamhdi A. Deep neuro-fuzzy system application trends, challenges, and future perspectives: a systematic survey // *Artificial Intelligence Review*. – 2023. – Vol. 56, № 2. – P. 865–913. – Режим доступу: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9005344/>

**Секція 2. СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО
КЕРУВАННЯ ТА ДІАГНОСТУВАННЯ
ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ**

**Section 2. AUTOMATIC CONTROL AND
DIAGNOSTICS SYSTEMS FOR
TECHNOLOGICAL COMPLEXES**

УДК 681.5:621.798.1:004.896

В. С. Варениця, асистент**Р. Р. Курка**, канд. техн. наук, доцент*Національний лісотехнічний університет України*

АВТОМАТИЧНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ЗГИНАННЯМ КАРТОННОЇ ТАРИ НА БАЗІ СТАНДАРТНОГО ПЛК

При виготовленні картонної тари у великому тиражі її згинання і склеювання виконують автоматичні конвеєрні системи машин. Більшість наявних в Україні зразків потребують модернізації автоматичних систем керування чи окремих підсистем через відсутність на ринку запасних частин та специфіку застосованого програмного забезпечення.

Варіант модернізації підсистеми автоматичного керування механізмом зворотного згинання картонної тари – back folding зображено на рисунку 1.

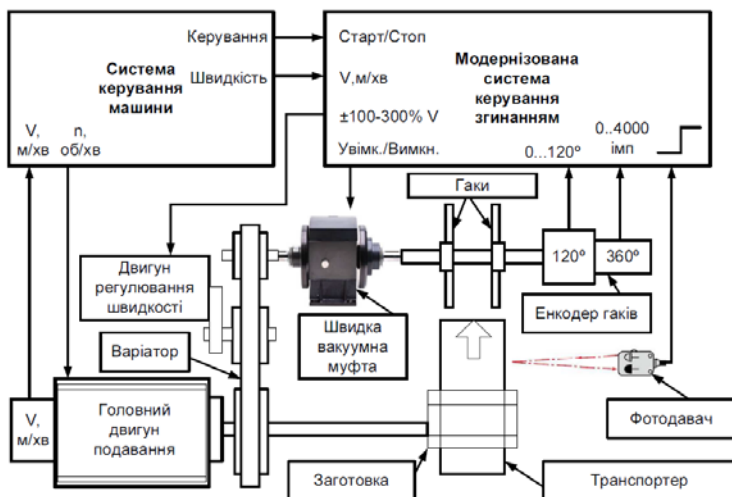


Рисунок 1 – Пропонована функціональна схема автоматичної системи керування згинанням картонної тари

Відповідно проаналізувавши режими функціонування машини Heidelberg Diana, на для стандартного промислового контролера Unitronics V350-35-TR20 розроблено програму та інтерфейс керування які повністю замінюють застарілий і несправний

контролер Danfoss. Наявність трьох високошвидкісних входів оброблення сигналів енкодерів та достатня швидкодія дозволила побудувати алгоритми самонавчання і діагностики системи які дозволяють:

- автоматично визначати і враховувати динамічні параметри застосованих в машині вакуумних муфт;
- автоматично перераховувати випередження моменту спрацьовування back folding гаків за умови зміни швидкості подавання в діапазоні 20-150м/хв;
- автоматично налаштовувати співвідношення швидкостей руху гаків по відношенню до швидкості руху основного конвеєра;
- реалізувати двотактний режим позиціонування гаків із онлайн корекцією точки проміжної зупинки;
- автоматично перераховувати параметри в залежності від заданих розмірів тари яку згинають.

Порівнюючи пропонований варіант модернізації за його функціональними можливостями, вартістю та складністю модернізації із новими альтернативними варіантами [1, 2], можна констатувати його беззаперечну перевагу. Особливо слід відзначити високу надійність яку показала система в експлуатації та наявність алгоритмів автоматичного налаштування параметрів які дуже спростують перехід на різні види продукції.

Список використаних джерел:

1. Malyi O., Sokolovskyi O., Hryhorov O., Kuzo I. Analysis of experience in optimizing the operation of an automated production line for folding cardboard boxes // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2024. – Vol. 1, No. 1(127). – P. 45–53. DOI: 10.15587/1729-4061.2024.297399.

2. IIS Intelligent Integrated Systems. Dual Axis Back Folding Control System [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.iis-servo.com/dual-axis-back-folding-control-system/> (дата звернення: 13.05.2026)

СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ В ТЕХНОЛОГІЇ КОНТРОЛЮ ОБРОБКИ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

Машинобудівна галузь виготовляє різноманітні вироби в багатьох із яких, використовуються зубчасті передачі. В конструктивному, технологічному і метрологічному відношенні зубчасті передачі є одними з найбільш складних елементів машин і механізмів. Зростання вимог до якості зубчастих коліс і передач призводить до безперервного вдосконалення технологій їх виготовлення та методів контролю.

Під час контролю зубчастих коліс крім універсальних і спеціальних засобів вимірювання типових геометричних параметрів застосовують спеціалізовані прилади контролю параметрів, які характеризують експлуатаційні показники зубчастого колеса або зачеплення [1].

На виробництві застосовується широка номенклатура засобів вимірювання геометричних параметрів зубчастих коліс. Це в основному ручні не автоматизовані прилади традиційної конструкції з вузькою спеціалізацією. Використовувати які незручно і споживачеві (необхідно мати повний комплект різноманітних приладів), і виробнику (широка номенклатура конструкцій приладів).

На даний час стан метрологічного забезпечення зубчастих коліс характеризується тим, що практично для контролю кожної похибки застосовується окремий засіб вимірювання. Таке метрологічне устаткування, як правило, працює не більше 1000 годин в рік, що є наслідком контролю вибірки коліс в межах 1...4 % від випуску та має високу вартість [2].

Основними сучасними тенденціями у контролі зубчастих коліс є аналіз відхилень зі зворотним зв'язком з виробництвом; більша висока точність та швидкість вимірювань; можливість контролю на виробництві та вимірювання модифікацій і топографії зуба. Також важливим є забезпечення отримання результатів на різних етапах виробництва [3]. Усі перераховані тенденції зумовлюють застосовувати нові засоби контролю зубчастих вінців.

Найбільш оптимальним на сьогоднішній день рішенням, з точки

зору гнучкості процесу контролю є перевірка зубчастих коліс і зуборізних інструментів на універсальних зубовимірювальних машинах, які мають можливість прямого виміру не тільки похибки профілю, напрямку, кроку і радіального биття, а й топографії поверхні зуба, а також форми і розташування поверхонь самої деталі.

Як сучасний засіб вимірювання зубчастих коліс – зубовимірювальні машини замінюють усі вимірювальні прилади, є високої точності та інформативності, дозволяють виконати основні вимоги, які визначаються конструкцією і технологією виготовлення. Оскільки забезпечують вимірювання коліс різної модифікації, внаслідок зміни інструменту або технології обробки з мінімальними затратами часу, що становить, в середньому, 3...4 хв.

Отримані в результаті вимірювання зубчастого вінця значення похибок використовуються в сучасній технології для коригування налагодження верстата, що підвищує якість обробки. Як наслідок, методи і обладнання для контролю зубчастих вінців все глибше інтегруються в виробничий процес механічної обробки.

Список використаних джерел:

1. Goch, G. Gear Metrology: CIRP Annals. – 2003. – Vol. 52, iss. 2. – P. 659-695.
2. Локтев, Д. А. Сучасні методи контролю якості циліндричних зубчастих коліс. Металообробка. Обладнання та інструмент для професіоналів. – 2009. – № 4. – С. 6–11.
3. Гальчук Т.Н., Михальчук О.О. Технологічне забезпечення кінематичної точності зубчастих коліс: матеріали тез доповідей XI Міжнародної науково-практичної конференції КЗЯТПС – 2021. – Чернігів: НУ «Чернігівська політехніка». – 2021. – Т. 1.– С.103.

УДК 697.94:681.5

М. К. Гончаров, магістр

Я. В. Мацишин, канд. техн. наук, доцент

В. В. Варениця, асистент

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів

АВТОМАТИЗОВАНЕ КЕРУВАННЯ СИСТЕМАМИ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОТОКОЛУ MODBUS RTU

Сучасні системи кондиціонування повітря є невід'ємною складовою інженерної інфраструктури житлових, адміністративних та промислових будівель. Важливим напрямом розвитку таких систем є їх інтеграція у системи автоматизації та диспетчеризації будівель (BMS – Building Management System), що дозволяє реалізувати централізоване керування та забезпечити оптимальні параметри мікроклімату.

У роботі досліджено можливість автоматизованого керування системами кондиціонування Samsung із використанням контролера із Engineering Atom Hydrogen та протоколу Modbus RTU. Основною проблемою інтеграції кліматичного обладнання Samsung у відкриті системи автоматизації є використання виробником власних закритих протоколів зв'язку. Для забезпечення сумісності обладнання із системами диспетчеризації потрібно використовувати інтерфейсні шлюзи, які виконують функцію перетворення даних між внутрішнім протоколом Samsung та Modbus RTU.

На рисунку 1 представлено схему інтеграції кліматичного обладнання Samsung у систему автоматизованого керування на базі контролера із Atom Hydrogen. Внутрішні та зовнішні блоки кондиціонування об'єднані комунікаційною шиною F1–F2, через яку здійснюється обмін даними між компонентами системи. Для інтеграції обладнання у систему автоматизації використовується інтерфейсний шлюз MIM-B19N, що перетворює внутрішній протокол Samsung у відкритий протокол Modbus RTU (RS-485).

Контролер із Atom Hydrogen забезпечує централізоване керування кліматичним обладнанням Samsung, зчитування параметрів роботи системи та моніторинг мікроклімату приміщень. За допомогою протоколу Modbus RTU реалізовано функції дистанційного ввімкнення та вимкнення кондиціонерів, зміни

режимів роботи, встановлення температури та регулювання швидкості вентиляторів.

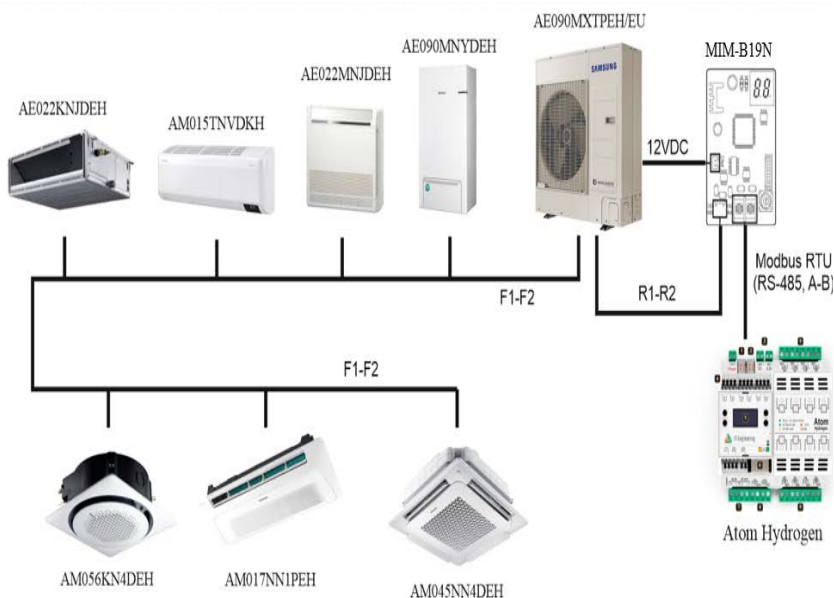


Рисунок 1 – Схема інтеграції кліматичного обладнання Samsung у систему автоматизованого керування на базі контролера і3 Atom Hydrogen

На рисунку 2 представлено мобільний інтерфейс системи керування у середовищі і3 Home, а також практичну реалізацію підключення контролера і3 Atom Hydrogen до обладнання Samsung через інтерфейс RS-485. Продемонстровано можливість дистанційного моніторингу та керування параметрами кондиціонування за допомогою мобільного додатка.

Функціональна схема взаємодії обладнання передбачає перетворення внутрішнього протоколу Samsung у відкритий протокол Modbus RTU, що дозволяє інтегрувати обладнання у сучасні системи диспетчеризації будівель та платформи «розумного будинку». Важливою перевагою запропонованого рішення є можливість централізованого керування різними типами кліматичного обладнання незалежно від особливостей їх внутрішніх протоколів.

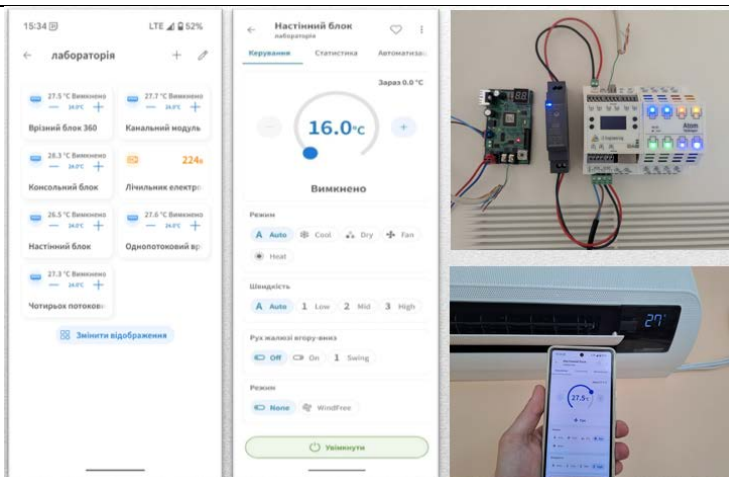


Рисунок 2 – Інтерфейс та практична реалізація системи автоматизованого керування кондиціонуванням на базі контролера i3 Atom Hydrogen

Список використаних джерел:

1. Samsung Electronics. DVM S ECO Installation Manual [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.essencompany.com/wp-content/uploads/2025/02/DVM-S-Eco-installationsmanual-eng.pdf> (дата звернення: 05.05.2026).
2. Modbus Organization. MODBUS Application Protocol Specification V1.1b3 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.modbus.org/file/secure/modbusprotocolspecification.pdf> (дата звернення: 05.05.2026).
3. i3 Engineering. P2: Starting guides for Atom series controllers [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://i3engineering.com/p2-starting-guides-for-atom-series-controllers> (дата звернення: 05.05.2026).
4. Гончаров М. К. Автоматизоване керування системами кондиціонування повітря з використанням протоколу Modbus : дипломна робота бакалавра / М. К. Гончаров. – Львів : НЛТУ України, 2025. – 56 с.

УДК 621.9.048:681.5

Ю. В. Гончарук, магістрант

В. Ю. Денисюк, канд. техн. наук, доцент

Луцький національний технічний університет

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ КОМБІНОВАНОЇ ОБРОБКИ СФЕРИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ

Сучасне машинобудування висуває підвищені вимоги до якості та зносостійкості деталей, що працюють в умовах інтенсивного механічного навантаження та агресивного середовища. Особливо це стосується сферичних елементів запірної арматури, гідросистем та інших відповідальних вузлів, для яких критично важливими є низька шорсткість поверхні, однорідність покриття та відсутність локальних дефектів. Одним із перспективних методів забезпечення необхідних експлуатаційних характеристик є комбінована електрохімікомеханічна обробка, що поєднує електрохімічне осадження металу з одночасним механічним впливом на поверхню деталі.

Аналіз існуючих досліджень показав, що більшість відомих технологій орієнтована на обробку циліндричних поверхонь, тоді як питання автоматизованого керування процесом формування сферичних поверхонь залишаються недостатньо дослідженими. Основною проблемою є складність забезпечення рівномірного мікрорельєфу та постійного кута сітки траєкторій інструмента по всій поверхні деталі. Нерівномірність параметрів обробки призводить до локальних дефектів покриття, погіршення фізико-механічних властивостей та збільшення відсотка браку [1, 2].

Для вирішення зазначеної проблеми запропоновано автоматизовану систему керування процесом комбінованої обробки сферичних поверхонь, яка базується на використанні двох узгоджених обертальних рухів – обертання деталі та інструмента. Такий підхід дозволяє формувати рівномірну сітку мікрорельєфу на сферичній поверхні та забезпечувати стабільний кут перетину траєкторій [3].

У роботі розроблено математичну модель формування траєкторії руху інструмента на сферичній поверхні, яка враховує взаємозв'язок між кутами повороту привідних механізмів та геометричними параметрами сітки мікрорельєфу. Для опису траєкторії використано сферичну систему координат, що дозволило

визначити функціональну залежність між параметрами керування та кінцевою формою оброблюваної поверхні.

На основі розробленої моделі реалізовано алгоритм автоматичного керування приводами установки. Для забезпечення необхідної точності позиціонування використано крокові двигуни з мікрокроковим режимом роботи. Керування приводами здійснюється мікроконтролером, який формує послідовність імпульсів відповідно до заданих параметрів траєкторії. Запропонований алгоритм забезпечує підтримання постійного кута сітки по всій поверхні сферичної деталі.

Для перевірки роботоздатності системи створено експериментальну установку та проведено серію досліджень при різних режимах обробки. Результати експериментів підтвердили адекватність математичної моделі та ефективність запропонованої системи керування. Відхилення фактичних значень кута сітки від заданих не перевищували допустимих меж, що свідчить про високу точність реалізації траєкторії руху інструмента.

Запропонована автоматизована система керування дозволяє підвищити якість комбінованої обробки сферичних поверхонь, забезпечити однорідність властивостей покриття та знизити кількість дефектів. Результати дослідження можуть бути використані у машинобудуванні, авіаційній промисловості та інших галузях, де застосовуються сферичні деталі з підвищеними вимогами до якості поверхні.

Список використаних джерел:

1. Дзюра В. О., Марущак П. О. Технологічні методи забезпечення параметрів якості поверхонь тіл обертання та їх профілометричний контроль: монографія. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2021. 170 с.
2. Денисюк В. Ю. Автоматизація виробничих процесів в приладобудуванні: електронний посіб. URL: <https://surl.li/dydera> (дата звернення: 12.05.2026).
3. Денисюк В. Ю., Пташенчук В. В. Аналіз методів метрологічного забезпечення високоточного контролю похибок механічних пристроїв переміщень об'єктів. *«Перспективні технології та прилади»*. зб. статей. Луцьк: ЛНТУ, 2022. Вип. 21. С. 20-25.

АНАЛІЗ ПОХИБОК У СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧНОГО РОЗМІРНОГО КОНТРОЛЮ ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

У сучасному машино- та приладобудуванні підвищуються вимоги до точності механічної обробки деталей, що обумовлює необхідність широкого застосування систем автоматичного керування та активного контролю. Одним із найбільш ефективних напрямів забезпечення високої точності є використання автоматизованих систем розмірного контролю, інтегрованих у структуру металорізальних верстатів [1, 2].

Системи автоматичного контролю є складовою сучасних технологічних комплексів і виконують функції вимірювання, контролю, формування керуючих сигналів та діагностування стану процесу обробки. До складу таких систем входять металорізальний верстат, вимірювальні перетворювачі, прилади активного контролю, виконавчі механізми та електронні системи керування. Основним призначенням систем активного контролю є забезпечення автоматичного завершення процесу обробки при досягненні деталлю заданого розміру, що дозволяє мінімізувати відхилення та забезпечити відповідність деталей установленим допускам.

У роботі проведено аналіз основних факторів, які впливають на точність автоматичного розмірного контролю. Встановлено, що похибки систем активного контролю мають як систематичний, так і випадковий характер. До основних складових похибок належать похибка спрацьовування команди, похибка налаштування та похибка зміщення рівня налаштування. Значний вплив на результати вимірювання мають також температурні та динамічні похибки, зумовлені інерційністю приладів, зміною швидкості знімання припуску, нестабільністю температури навколишнього середовища та змашувально-охолоджувальної рідини [3].

Особливу увагу приділено аналізу динамічних похибок, що виникають у процесі безперервної зміни контрольованого розміру під час шліфування. Показано, що інерційність вимірювальної системи призводить до запізнення видачі керуючої команди та

виникнення перешліфування деталі. Встановлено, що використання швидкодіючих індуктивних мікропроцесорних приладів дозволяє зменшити динамічну похибку до значень менше 0,5 мкм [4].

Також розглянуто похибки, пов'язані з нестабільністю положення контактних наконечників вимірювального оснащення та їх зношуванням у процесі експлуатації. Визначено, що застосування конструктивно жорстких систем підведення вимірювального оснащення, використання алмазних наконечників та температурно-стабільних матеріалів дозволяє суттєво підвищити точність контролю.

Таким чином, системи автоматичного розмірного контролю є важливою складовою сучасних технологічних комплексів і забезпечують високий рівень автоматизації та точності механічної обробки. Аналіз похибок дозволяє визначити основні фактори, що впливають на точність функціонування систем активного контролю, та обґрунтувати шляхи їх компенсації. Застосування швидкодіючих мікропроцесорних приладів, температурно-стабільних конструкцій та сучасних засобів діагностування дозволяє підвищити ефективність автоматизованих технологічних комплексів і забезпечити стабільну якість виготовлення деталей у сучасному виробництві.

Список використаних джерел:

1. Марчук В. І, Михалевич В. Т. Автоматизоване управління точністю оброблення деталей: монографія. Луцьк: РВВ ЛНТУ, 2013. 184 с.
2. Денисюк В. Ю., Пташенчук В. В. Аналіз похибок обробки деталей при автоматичному розмірному контролі. *«Перспективні технології та прилади»*: зб. статей. Луцьк: ЛНТУ, 2023. Вип. 22. С. 31-37.
3. Денисюк В. Ю. Аналіз особливостей конструювання та метрологічного забезпечення приладів активного контролю *Перспективні технології та прилади»*: зб. статей. Луцьк: ЛНТУ, 2024. Вип. 24. С. 32-37.
4. Денисюк В. Ю., Симонюк В. П., Лапченко Ю. С., Новосад Б. І. Метрологічне забезпечення точності приладів активного контролю в процесі обробки. *«Перспективні технології та прилади»*: зб. статей. Луцьк: ЛНТУ, 2020. Вип. 16. С. 38-47.

УДК 621.9.014

Р. О. Іваненко, старший науковий співробітник

Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз

І. М. Діордіца, завідувач лабораторією

О. В. Волошко, старший викладач

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ВИРОБНИЦТВА

При проектуванні технологічних процесів і роботи виробничого обладнання основний комплекс задач пов'язаний з вибором найкращого варіанта виробничої системи по сукупності техніко-економічних показників. Ці задачі мають кілька різновидів, яким відповідають три рівні оптимізації. Перший рівень оптимізації полягає в виборі найкращої технічної ідеї або принципу дії об'єкта, що проектується; другий – в пошуку найкращої структури або схеми в рамках обраного принципу дії; третій – у визначенні найкращих значень параметрів для обраної структури (схеми). Підвищення ефективності процесу механообробки нерозривно пов'язане з розробкою технологічного процесу та пристроїв для його реалізації. Одним із основних напрямків для вирішення цієї проблеми є оптимізація технологічних режимів механообробки та створення систем адаптивного керування процесами різання [1-3].

Розроблені методика та алгоритми оптимізації керування дозволяють визначити оптимальні технологічні режими чистового точіння за компромісним критерієм собівартість, продуктивність, проводити коригування технологічних режимів при зміні умов обробки з метою забезпечення екстремуму критерію оптимальності або оптимального періоду стійкості різального інструменту.

При створенні автоматизованого стенду системи визначення оброблюваності металів різанням, використані сучасні засоби контролю, діагностики, прогнозування стану різального інструменту і процесу різання в цілому. Розроблено систему оптимального керування, яка включає алгоритми керування, лазерний пристрій вимірювання зносу інструменту, верстат з ЧПК типу CNC, яка може бути використана в сучасних умовах виробництва.

Досліджено характер та закономірності взаємозв'язку швидкості зносу різального інструменту з режимами різання, фізико-механічними властивостями інструментального та оброблювального матеріалів, геометрією та видом покриттів різальної частини інструменту в умовах чистового точіння.

Впровадження таких систем має велике значення, вони дозволяють автоматизувати одиничне та серійне виробництво, яке займає до 75-80% обсягу всього виробництва. Практика застосування систем адаптивного керування процесом різання показує їхню високу ефективність, їх впровадження підвищує продуктивність обробки на 20-50% і знижує собівартість виготовлення деталей у 1,1-1,2 рази.

Список використаних джерел:

1. Комп'ютерне моделювання процесів та систем. Чисельні методи [Електронний ресурс] : підручник для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / С. П. Вислоух, О. В. Волошко, Г. С. Тимчик, М. В. Філіппова ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл 37,37 МБайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 228с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/42195>
2. Глоба О.В., Вислоух С.П., Іваненко Р.О. Комплексна оптимізація процесу фрезерування на верстатах з ЧПК. //Розвиток транспорту No 2(9), 2021, – С. 7-19. <https://doi.org/10.33082/td.2021.2-9.01>

УДК 681.51:674.047

Т. В. Іванишин, канд. техн. наук, доцент

В. І. Криштапович, канд. техн. наук, доцент

О. А. Валюх, канд. техн. наук, доцент

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів

ДВОКАНАЛЬНА БАГАТОЗВ'ЯЗАНА СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ДЕРЕВИНИ В КОНВЕКТИВНІЙ СУШАРЦІ ПЕРІОДИЧНОЇ ДІЇ

Конвективні сушарки періодичної дії є найпоширенішим сушильним обладнанням у деревообробній галузі завдяки конструктивній простоті, універсальності та можливості реалізації широкого спектра режимів сушіння деревини різних порід і розмірів (рис. 1) [1].

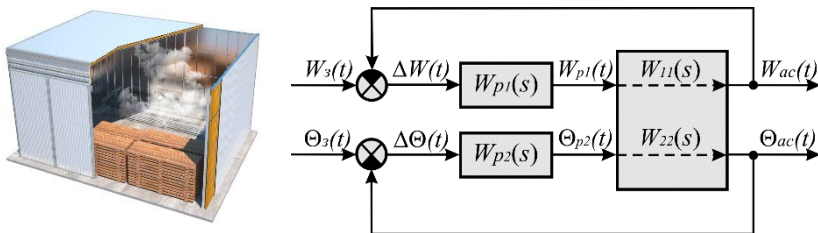


Рисунок 1 – Конвективна сушарка періодичної дії та структурна схема системи автоматичного регулювання процесу сушіння деревини

У переважній більшості таких сушарок керування процесом гідротермічного оброблення деревини здійснюється за допомогою двох автономних систем автоматичного регулювання (САР) температури Θ_{ac} та вологості W_{ac} агента сушіння (рис. 1.) [2]. За незалежними SISO-каналами (Single Input – Single Output) таких САР з відповідними регульовальними впливами $W_{p1}(t)$ і $\Theta_{p2}(t)$ та регульованими змінними $\Theta_{ac}(t)$ і $W_{ac}(t)$ динамічні характеристики об'єкта описуються передавальними функціями $W_{11}(s)$ і $W_{22}(s)$ інерційних ланок з коефіцієнтами передачі k_{11} , k_{22} та сталими часу T_{11} , T_{22} , а також ланок з транспортними запізненнями τ_{11} і τ_{22} відповідно [2]:

$$W_{11}(s) = \frac{k_{11} \cdot e^{-s\tau_{11}}}{T_{11}s + 1}; \quad W_{22}(s) = \frac{k_{22} \cdot e^{-s\tau_{22}}}{T_{22}s + 1}. \quad (1)$$

Реальний процес сушіння деревини супроводжується суттєвими тепломасообмінними зв'язками між температурою та вологістю агента сушіння. Підвищення температури інтенсифікує випаровування вологи з деревини та змінює вологість повітря в камері сушіння, тоді як зміна вологості впливає на тепловий баланс процесу через приховану теплоту пароутворення [1]. Наявність перехресних збурень між каналами регулювання порушує динамічну рівновагу системи, погіршує якість перехідних процесів і точність регулювання, а також може призводити до збільшення браку висушеної деревини [1].

Для усунення перелічених недоліків доцільним є застосування двоканальної багатозв'язаної *MIMO-CAP* (*Multiple Input – Multiple Output*) температури та вологості в сушарці з коректувальними ланками $W_{\kappa 1}(s)$ і $W_{\kappa 2}(s)$ в структурі системи (рис. 2), призначеними для формування на входах регуляторів компенсуючих сигналів з метою нівелювання взаємних збурювальних впливів $W_{12}(s)$ та $W_{21}(s)$ між каналами регулювання [2].

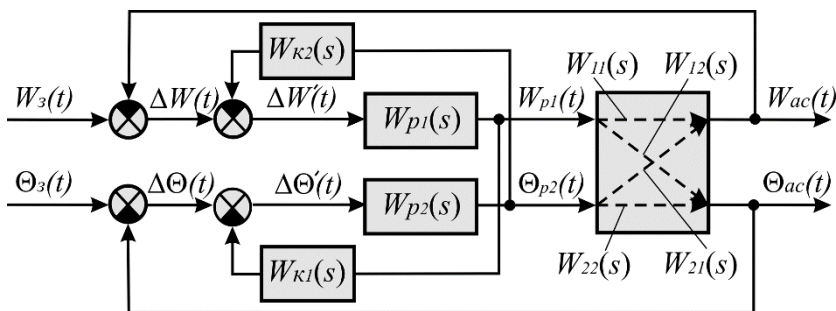


Рисунок 2 – Структурна схема удосконаленої двоканальної *CAP* температури та вологості агента сушіння в конвективній сушарці

Оскільки, відповідно до рис. 2, властивості перехідних процесів двоканальної *CAP* описуються матричною передавальною функцією в операторній формі

$$\begin{bmatrix} W_{ac}(s) \\ \Theta_{ac}(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_{11}(s) & W_{12}(s) \\ W_{22}(s) & W_{21}(s) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} W_{p1}(s) \\ \Theta_{p2}(s) \end{bmatrix}, \quad (2)$$

то передавальні функції коректувальних ланок, які забезпечують

інваріантність системи до дії перехресних зв'язків, визначаються такими співвідношеннями [2]:

$$W_{\kappa 1}(s) = \frac{W_{12}(s)}{W_{22}(s)W_{p2}(s)}; \quad W_{\kappa 2}(s) = \frac{W_{21}(s)}{W_{11}(s)W_{p1}(s)}. \quad (3)$$

Список використаних джерел:

1. Білей П. В. Сушіння і захист деревини: Підручник / П. В. Білей, В. М. Павлюст. – Львів: Ліга-Прес, 2008. – 312 с
2. Іванишин Т. В. Основи автоматики та автоматизація виробничих процесів лісових і деревообробних підприємств: [навч. посіб.] / Т. В. Іванишин, С. С. Мазепа. – Львів: “Магнолія”, 2025. – 354 с.

УДК 621.9.048.7:681.51:621.9.025

А. М. Ілів, аспірант

Т. В. Іванишин, канд. техн. наук, доцент

Ю. І. Озимок, канд. техн. наук, доцент

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів

СТРУКТУРА ТА ФОРМАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ЕЛЕКТРОІМПУЛЬСНОГО ЗМІЦНЮВАННЯ РІЗАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ

Одним із найпоширеніших методів електроерозійного зміцнювання різальних інструментів є їх електроімпульсне легування, під час якого на лезі формується додатковий легований шар із матеріалу електрода (рис. 1).

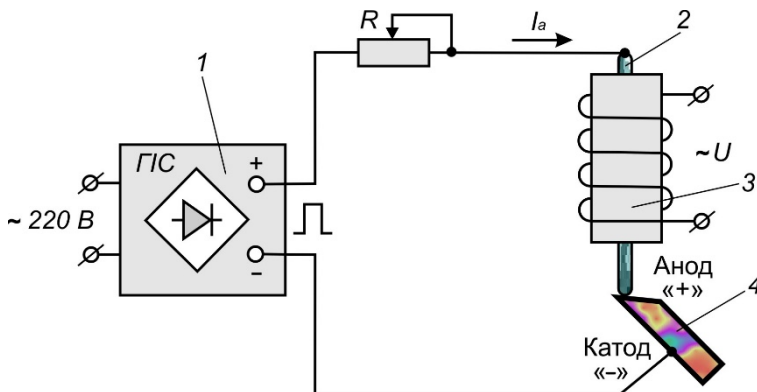


Рисунок 2 – Схема електроімпульсного легування ножів:

1 – генератор імпульсів струму ГІС; 2 – електрод;

3 – електромагніт вібраційних вібраційних коливань; 4 – ніж;

R – змінний резистор; I_a – струм анода

Електроімпульсне легування є складним багатофакторним процесом із взаємозв'язками між електричними, тепловими та технологічними параметрами. Керування електроімпульсним легуванням у ручному режимі не забезпечує вибору раціональних режимів оброблення, призводить до нестабільної якості зміцненого шару та потребує автоматизації шляхом впровадження системи автоматичного регулювання (САР) температури $\Theta(t)$ в зоні електроіскрового легування (рис. 2).

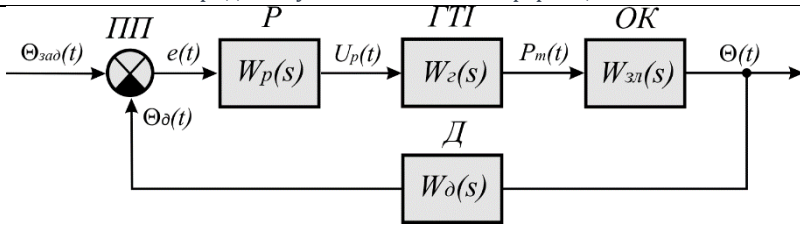


Рисунок 2 – Структурна схема САР температури електроімпульсного легування

У структуру такої САР входять: зона легування як об'єкт керування (ОК), регулятор режимів імпульсів (Р), генератор тактових імпульсів (ГТІ), термоелектричний давач (Д), а також пристрій порівняння (ПП).

Динамічні характеристики об'єкта керування за каналом регулювання описуються диференціальним рівнянням теплового балансу в зоні легування:

$$C_m \frac{d\Theta(t)}{dt} = P_t(t) - \frac{\Theta(t) - \Theta_0}{R_t}, \quad (1)$$

де $C_m = \rho c V$ – теплоємність зони легування, Дж/°C; ρ – густина металу ножа, кг/м³; c – питома теплоємність металу ножа, Дж/кг·°C; V – локальний об'єм нагрітої зони, м³; $P_t = \eta U_e I_e$ – теплова потужність імпульсів у зоні легування леза, Вт; η – коефіцієнт перетворення електричної енергії в теплову, U_e – напруга імпульсів, В; I_e – струм імпульсів, А; $R_t = L / \lambda A$ – тепловий опір зони легування, °C/Вт; L – характерна глибина теплоперенесення, м; λ – коефіцієнт теплопровідності, Вт/м·°C; A – площа тепловідведення, м²; Θ_0 – початкова температура зміцнювального леза, °C.

Розв'язком математичної моделі (1) є передавальна функція об'єкта керування як аперіодичної ланки:

$$W_{зл}(s) = \frac{k_{зл}}{T_{зл}s + 1}, \quad (2)$$

де $k_{зл} = R_t$ – коефіцієнт передачі ОК за каналом регулювання, °C/Вт; $T_{зл} = R_t C_m = (L / \lambda A)(\rho c V)$ – стала часу ОК за каналом регулювання, с.

Оскільки стала часу генератора тактових імпульсів значно менша за теплову сталу часу зони електроіскрового легування, то

його в першому наближенні можна вважати безінерційною ланкою з передавальною функцією:

$$W_r(s) = \frac{P_r(s)}{U_p(s)} = k_r, \quad (3)$$

де $k_r = \eta U_r k_i$ – коефіцієнт підсилення генератора імпульсів, Bm/B ; $k_i = I_r / U_p$ – коефіцієнт передачі генератора імпульсів за напругою живлення від регулятора U_p , A/B .

Термоелектричний давач характеризується тепловою інерційністю, тому його доцільно описувати передавальною функцією аперіодичної ланки:

$$W_d(s) = \frac{k_d}{T_d s + 1}, \quad (4)$$

де $k_d = E/(\Theta_r - \Theta_0)$ – коефіцієнт передачі термопари, $mB/^{\circ}C$; E – термоелектрорушійна сила, mB ; Θ_r і Θ_0 – температури гарячого та холодного кінців термопари, $^{\circ}C$; $T_d = C_m / \alpha A$ – стала часу термопари, s ; C_m – теплоємність спаю провідників, $Dж/^{\circ}C$; α – коефіцієнт тепловіддачі, $Bm/m^2 \cdot ^{\circ}C$; A – площа теплообміну, m^2 .

Список використаних джерел:

1. Голубець В. М. Технологічні методи поверхневого зміцнення металічних конструкційних матеріалів: Навч. посібн. / В. М. Голубець. – Львів: ВТФ «Друк-сервіс», 2000. – 178 с.
2. Голубець В. М. Електродні матеріали для електроіскрового легування у контексті трибоматеріалознавства: [колект. монографія] / В. М. Голубець [та ін.]. – Львів: Панорама, 2023. – 102 с.
3. Ілів А. М. Прогресивні методи електроерозійного підвищення зносостійкості стружкових ножів / А. М. Ілів, Ю. І. Озимок, Т. В. Іванишин // Міжнародний електронний науково-практичний журнал “WayScience”: зб. наук. тез II Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Towards a Holistic Understanding: Interdisciplinary Approaches to Tackle Global Challenges and Promotion of Innovative Solutions» 13-14 березня 2025 р. – Дніпро, 2025. – С. 102-104.

УДК 620.179

І. О. Коваленко*Харківський національний університет Повітряних Сил
імені Івана Кожедуба*

МЕТОДИ ПРОМІЖНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ЯК ОСНОВА ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ЦИФРОВИХ ВИМІРЮВАНЬ

Розвиток сучасної цифрової вимірювальної техніки безпосередньо пов'язаний із удосконаленням методів проміжного перетворення електричних сигналів, оскільки саме цей етап визначає кінцеву точність, роздільну здатність та стійкість приладів до зовнішніх впливів [2]. У процесі функціонування будь-якого цифрового засобу вимірювання виникає потреба в адаптації первинного сигналу, який часто має низьку амплітуду або складну форму, до параметрів аналого-цифрового перетворювача [2]. Проміжне перетворення виконує функцію інтелектуального бар'єра, який не лише масштабує сигнал, а й проводить його попередню очистку від шумів, забезпечуючи максимальну відповідність між фізичною величиною та її цифровим еквівалентом [2].

Одним із найбільш ефективних підходів у цьому контексті є перетворення напруги у проміжні параметри, такі як частота або часовий інтервал [1]. Це дозволяє реалізувати інтегровальний метод вимірювання, який є незамінним під час роботи в зонах підвищеного електромагнітного випромінювання [1]. На відміну від методів миттєвого відліку, інтегровальне проміжне перетворення дозволяє усереднювати сигнал за певний проміжок часу, що автоматично нівелює вплив випадкових сплесків та мережевих наводок [1]. Це критично важливо для професійної вимірювальної техніки, де стабільність показів повинна зберігатися навіть у складних індустріальних або польових умовах [1].

Сучасна архітектура вимірювальних систем все частіше базується на використанні високоінтегрованих компонентів, де вузли проміжного перетворення об'єднуються з цифровими обчислювачами в єдиний комплекс [2]. Використання спеціалізованих мікросхем проміжного перетворення дозволяє мінімізувати теплові шуми та дрейф нуля, які раніше були суттєвою проблемою для приладів на дискретних елементах [1]. Окрім цього, сучасні технічні рішення дозволяють реалізувати динамічну зміну

діапазонів та автоматичне калібрування безпосередньо в процесі роботи, що значно розширює функціональні можливості пристроїв без втрати їхньої метрологічної надійності [2].

На перспективу розвиток засобів проміжного перетворення спрямований на ще тіснішу інтеграцію з мікропроцесорною технікою та перехід до методів сигма-дельта модуляції [1]. Такий підхід дозволяє перенести частину завдань з апаратного рівня на програмний, де цифрові фільтри можуть здійснювати набагато складнішу обробку сигналу, ніж традиційні аналогові схеми [1]. Таким чином, проміжне перетворення залишається фундаментальною базою, на якій будується вся сучасна концепція прецизійних цифрових вимірювань, поєднуючи класичні принципи метрології з новітніми досягненнями мікроелектроніки [1], [2].

Список використаних джерел:

1. Voltage-to-Frequency Converters: CMOS Design and Implementation / C. Azcona Murillo, B. Calvo, S. Celma. – New York : Springer, 2013. – 160 p.
2. Поліщук Є. С., Ванько В. М., Дорожовець М. М., Яцук В. О. Вимірювальні перетворювачі (сенсори). – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2015. – 584 с.

УДК 004.056:004.75:004.942

О. В. Лукін, СТО

Active Bridge, LLC

С. В. Науменко, викладач

Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького

І. О. Розломій, канд. техн. наук, доцент

Черкаський державний технологічний університет

МЕТОД АВТОМАТИЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ СТАНУ БІОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ У ІОТ СИСТЕМАХ З БЛОКЧЕЙН ПІДТВЕРДЖЕННЯМ

Сучасні інформаційно-вимірювальні системи моніторингу біологічних об'єктів базуються на сенсорних IoT вузлах, що забезпечують безперервний збір параметрів середовища та фізіологічних характеристик. В умовах розподіленої архітектури та обмежених ресурсів актуальною є задача підвищення достовірності даних і автоматизації діагностування стану об'єктів [1]. Традиційні підходи не враховують можливості спотворення або підміни даних під час передачі та зберігання, що знижує надійність рішень.

Запропонований метод ґрунтується на поєднанні локального аналізу біосенсорних сигналів на рівні IoT вузлів із блокчейн підтвердженням результатів. На першому етапі здійснюється збір параметрів, зокрема температури, вологості, електропровідності та акустичних характеристик. Далі виконується попередня обробка та обчислення інтегрального показника стану як функції сенсорних параметрів. Отриманий результат порівнюється з граничним значенням для визначення нормального або критичного стану об'єкта.

Структурна організація запропонованої системи автоматичного діагностування включає сенсорний рівень, обчислювальний IoT вузол, комунікаційний канал та блокчейн інфраструктуру, що забезпечує підтвердження достовірності даних. Взаємодія між компонентами системи наведена на рис. 1.

Особливістю методу є використання блокчейн технології для підтвердження достовірності результатів. Після обчислення показників формується хеш-функція від набору даних, яка передається у розподілений реєстр [2]. Це забезпечує неможливість зміни або підміни інформації без порушення цілісності записів, що є критично важливим для систем екологічного моніторингу.

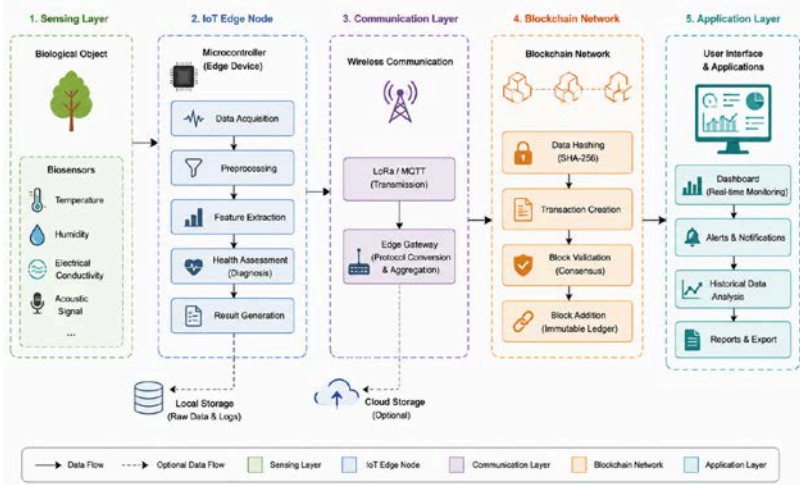


Рисунок 1 – Архітектура IoT системи автоматичного діагностування з блокчейн підтвердженням

Запропонований метод дозволяє підвищити ефективність автоматичного діагностування стану біологічних об'єктів за рахунок поєднання периферійної обробки та блокчейн підтвердження даних. Його застосування є доцільним у системах екологічного моніторингу, аграрних технологіях та кіберфізичних системах з обмеженими ресурсами.

Список використаних джерел:

1. Talaver, V., & Vakaliuk, T. A. (2023). Reliable distributed systems: review of modern approaches. *Journal of edge computing*, 2(1), 84-101.
2. Rozlomii, I., Yarmilko, A., Naumenko, S., & Mykhailovskyi, P. (2024, May). The Role of Encryption in Information Protection for Cloud Computing. In *2024 IEEE 4th International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST)* (pp. 70-75).

УДК 681.5:66.063.8

Л. М. Маркіна, канд. техн. наук, доцент

В. О. Сацик, канд. с.-г. наук, доцент

Луцький національний технічний університет

ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ РОБАСТНОГО КЕРУВАННЯ ТА ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ВИРОБНИЦТВІ ЕТАНОЛУ

Попередні дослідження, які висвітлені в працях [1-3] засвідчили ефективність застосування оптимального LQR-регулювання для стабілізації процесу приготування зернового замісу та водно-теплової обробки у виробництві харчового та і паливного етанолу. Розроблена динамічна модель у просторі станів дозволила досягти часу встановлення параметрів на проміжку від 0,5 до 5 с без перерегулювання, що значно перевершує показники класичних ПІД-регуляторів. Водночас подальший розвиток досліджень зумовлює необхідність розгляду нових напрямків: забезпечення робастності системи в умовах параметричної невизначеності, інтеграції методів штучного інтелекту та переходу до повноцінних цифрових двійників виробничого процесу [4].

Реальні умови виробництва характеризуються істотними коливаннями властивостей зернової сировини, зокрема таких як: вологості, ступеня подрібнення і вмісту крохмалю. Ці фактори впливають на зміну параметрів лінеаризованої моделі процесу відносно розрахункової робочої точки, що може знижувати ефективність синтезованого LQR-регулятора. Перспективним напрямком є розробка робастних стратегій керування типу H_∞ або μ -синтезу, які забезпечують задані показники якості за умов обмеженої невизначеності параметрів. Застосування методів робастного керування у поєднанні з методологією простору станів дозволить структурувати вимоги до стійкості системи та забезпечити стабільну роботу навіть при відхиленні реальних параметрів від номінальних на 15-30 % [6].

Подальшим кроком у розвитку системи керування є перехід від фіксованої матриці зворотного зв'язку K до адаптивного алгоритму, що забезпечує оновлення параметрів регулятора в онлайн-режимі на основі поточних вимірювань. Реалізація рекурентного методу найменших квадратів (RLS) або адаптивного спостерігача стану дозволить відстежувати зміну реологічних властивостей замісу без

зупинки технологічного процесу. Це особливо актуально при зміні зернової сировини (пшениця, кукурудза, жито), коли стали налаштування регулятора можуть виявитись неоптимальними. Система адаптивного оцінювання стану зменшить кількість ручних переналаштувань оператора та підвищить автономність роботи підприємства [5].

Побудована математична модель процесу базується включає низку спрощень і допущень, зокрема умові ідеального перемішування та лінеаризації відносно однієї заданої точки. Усунення вказаних недоліків можливе шляхом розробки гібридних моделей, які будуть поєднувати фізичні рівняння матеріального балансу з неймережевими елементами для апроксимації нелінійних залежностей, а саме впливу температури на в'язкість і ступінь гідролізу крохмалю. Використання такого підходу, як Physics-Informed Neural Networks (PINN) дозволить підтримати фізичну обґрунтованість моделі та її коректність в нестандартних режимах роботи, що є ключовим моментом та вимогою до промислових систем керування.

Наступний напрям, який є одним із пріоритетних – створення цифрового двійника технологічної лінії на основі розробленої моделі у просторі станів. Цифровий двійник забезпечить можливість паралельного симуляційного моделювання поруч із реальним виробничим процесом, що дозволить прогнозувати відхилення, тестування нових налаштувань регулятора без ризику для виробництва та оптимальне використання сировини. Інтеграція з промисловими протоколами передачі даних (OPC-UA, MQTT) та системами SCADA, щоб можна було підтримувати актуальні параметри процесу та тимчасово формувати коригувальні керуючі впливи для запобігання технологічним відхиленням.

Попередньо отримані результати [1, 4] свідчать про зменшення енергоспоживання при застосуванні оптимального LQR-керування завдяки усуненню перерегулювань і скороченню тривалості перехідних процесів. Кількісна оцінка цього ефекту потребує проведення систематичних виробничих вимірювань із застосуванням методів технічного аудиту енергоспоживання. Перспективним є формулювання задачі оптимізації з урахуванням економічного функціоналу якості, що включає вартість сировини, ферментних препаратів та енергоносіїв поряд із технологічними обмеженнями. Такий підхід дозволить перейти від стабілізаційного до економічно оптимального режиму керування.

Розроблений підхід апробовано на Луцькому та Марилівському спиртових заводах [2]. Подальші дослідження мають бути спрямовані на оцінку можливості впровадження системи на підприємствах різної потужності – від малих 500 дал/добу до великих заводів промислового масштабу. При цьому необхідно врахувати відмінності у конструктивних особливостях змішувальних апаратів, способах подачі сировини та рівнів автоматизації окремих вузлів. Уніфікація параметрів моделі та розробка інструментарію для їх ідентифікації за мінімальним набором виробничих даних сприятиме широкому практичному впровадженню системи в спиртовій галузі.

Таким чином, запропонована система оптимального LQR-керування процесом приготування зернового замісу та його водно-теплової обробки забезпечує підґрунтя для подальшого розвитку у напрямках робастності, адаптивності та цифровізації виробництва.

Список використаних джерел

1. Markina L., Palchevskyi B., Hrudetskyi R. та ін. Optimization of Ethanol Production Using State-Space Modeling and Optimal Control Technology // DESSERT 2023. Athens, Greece, 2023. P. 38-45. DOI: 10.1109/CoDIT.2017.8102564

2. Markina L., Satsyk V., Reshetylo O. та ін. Effective Ethanol Production Based on Intelligent Robust Control // DESSERT 2024. Athens, Greece, 2024. Paper ID 129.

3. Маркіна Л.М., Сазик В.О. Моделювання та оптимальне керування процесом виробництва етанолу із застосуванням підходу у просторі станів // Технологічні комплекси. 2025. Том 17. № 2. DOI: 10.1109/CoDIT.2017.8102564.

4. Маркіна Л.М. Автоматизація процесів приготування замісу із зернової сировини та його водно-теплової обробки у спиртовому виробництві: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.07 / Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2025. 151 с.

5. Ayman M., Attia M.A., Asim A.M. An adaptive model predictive control approach for robust load frequency control under renewable energy disturbances // Scientific Reports. 2026. Vol. 16. Article 2607. DOI: 10.1038/s41598-025-33986-5

6. Kuzmych O., Bahniuk N., Awrejcewicz J., Aitouche A. Robust Control of Human Postural Balance Using Optimal Controller // Proceedings of the 7th International Conference on Systems and Control. València, Spain, October 24-26, 2018.

УДК 621.9.018:620.179.16

С. А. Мороз канд. техн. наук, доцент;**В. В. Лишук** канд. техн. наук, доцент;**В. Д. Чалий**, канд. техн. наук, асистент*Луцький національний технічний університет*

АПАРАТУРНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АКУСТИКО-ЕМІСІЙНОЇ ДІАГНОСТИКИ ПРИ ОБРОБЦІ МЕТАЛІВ

У сучасних технологічних процесах механічної обробки важливе значення має оперативний контроль стану зони різання, інструмента та оброблюваної поверхні. Одним із перспективних методів діагностики є акустико-емісійний метод, що ґрунтується на реєстрації пружних хвиль, які виникають у матеріалі під час деформації, руйнування, тертя, зношування інструмента та інших процесів, пов'язаних із різанням металів.

Для аналізу акустичної емісії при різанні металів застосовуються багатоцільові комплекти апаратури, які адаптовані для вимірювання окремих інформативних параметрів або їх комплексів. Структура такої апаратури включає п'єзоперетворювач, попередній підсилювач, блок смугових фільтрів, амплітудний дискримінатор, основний підсилювач, піковий детектор, інтенсиметр, аналізатор спектра, цифровий осцилограф і пристрої реєстрації сигналів. Особливе значення має правильний вибір місця встановлення акустичного датчика. Оскільки джерелом сигналу акустичної емісії є хвилі напружень, що генеруються в зоні різання, необхідно забезпечити мінімальні втрати сигналу у хвильовому тракті. Датчик розміщують якомога ближче до зони різання або застосовують матеріали з близькими акустичними опорами. Для покращення акустичного контакту можуть використовуватися мастильні матеріали [1].

Найбільш поширеними чутливими елементами в акустико-емісійних системах є п'єзокерамічні датчики. Їх перевагами є висока чутливість, механічна міцність, стабільність характеристик і висока температура Кюрі. Також застосовуються резонансні датчики з підвищеною чутливістю у вузькому частотному діапазоні. Для вимірювань акустичної емісії характерним є використання датчиків із резонансною частотою 100-300 кГц. Сигнал із п'єзоперетворювача надходить на попередній підсилювач, який доцільно розташовувати безпосередньо біля

датчика для зменшення електромагнітних наведень і втрат сигналу. Попередній підсилювач має високий вхідний опір, малу вхідну ємність, широкий динамічний діапазон і низький рівень власних шумів. Коефіцієнт підсилення попереднього каскаду становить близько 40 дБ. Для виділення корисного сигналу акустичної емісії застосовуються смугові фільтри та амплітудні дискримінатори. Смугові фільтри забезпечують частотну селекцію сигналу, а дискримінатор відокремлює сигнали акустичної емісії від шумів за амплітудною ознакою. Це дозволяє підвищити завадостійкість вимірювального тракту та зменшити вплив вібрацій технологічної системи. Для кількісного аналізу акустичної емісії використовуються вимірювання інтенсивності імпульсів, їх амплітуди, потужності та спектральної щільності. Інтенсиметр визначає кількість імпульсів за одиницю часу, піковий детектор використовується для вимірювання максимальних значень імпульсів, а спектроаналізатор – для оцінювання частотного складу сигналу. Цифровий осцилограф забезпечує безпосереднє спостереження форми імпульсів акустичної емісії [2].

Зміною ємності в колі зворотного зв'язку підсилювача можна керувати загальною чутливістю системи «п'єзоперетворювач – підсилювач». Це дозволяє адаптувати вимірювальну систему до різних режимів різання та рівнів акустико-емісійного сигналу. Ефективність акустико-емісійної діагностики при різанні металів значною мірою залежить від правильного вибору датчика, способу його кріплення, характеристик підсилювального тракту, системи фільтрації та засобів реєстрації сигналів. Використання спеціалізованих акустико-емісійних модулів дозволяє здійснювати оперативний контроль процесу різання, виявляти ознаки зношування інструмента, дефекти обробки та нестабільність технологічного процесу.

Список використаних джерел:

1. Holroyd T. Acoustic Emission and Ultrasonics for Condition Monitoring. 2nd ed. London : The British Institute of Non-Destructive Testing, 2019. 412 p.
2. Grosse C. U., Ohtsu M. Acoustic Emission Testing: Basics for Research – Applications in Civil Engineering. Springer International Publishing, 2020. 418 p. DOI: 10.1007/978-3-030-67936-1.

УДК 681.5.015: 519.233.22

Б. П. Поберейко¹, доктор техн. наук, професор**М. М. Мисик**^{1,2}, канд. техн. наук, доцент**О. А. Валюх**¹, канд. техн. наук, доцент¹Національний лісотехнічний університет України²Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана Петра Сагайдачного

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ НАЙМЕНШИХ КВАДРАТІВ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТІВ КЕРУВАННЯ

Більшість простих методів налаштування ПІД регуляторів розроблені для базової моделі об'єкта керування першого порядку із запізненням [1–3]. Тому, навіть незалежно від його дійсного порядку, завжди є сенс, принаймні у першому наближенні, представити динаміку об'єкта саме в такому вигляді. У низці випадків така найпростіша модель насправді може бути достатньою для вибору параметрів регулятора, зокрема, у випадку автоматизації лісосушильних камер. Окрім того, така модель зручна для використання у процесі навчання [2]. Однак, як добре помітно у [2], зазвичай застосовуються готові «інженерні» методики, часто – графічні чи графоаналітичні, без будь-якого їх обґрунтування, а лише з акцентом на застосуванні обчислювальних методів і засобів [2]. Що, очевидно, не сприяє формуванню глибокого розуміння сутності застосованих методів. Тому актуальним є завдання показати увесь шлях ідентифікації динамічних параметрів об'єкта керування повністю аналітичним шляхом, що дасть змогу взагалі не акцентувати увагу на реалізації обчислювальних процедур тими чи іншими засобами комп'ютерної математики.

Отже, передавальна функція об'єкта керування:

$$W(p) = \frac{k}{Tp + 1} \exp(-\tau_{\text{зан}} p), \quad (1)$$

де k – безрозмірний коефіцієнт передачі об'єкта керування:

$$k = \theta_{\text{уст}} / \theta_{\text{вх}}, \quad (2)$$

де $\theta_{\text{уст}}$ та $\theta_{\text{вх}}$ – усталене та вхідне значення вихідної координати відповідно.

У часовій області аперіодична ланка першого порядку ідентифікується диференціальним рівнянням першого порядку:

$$T \frac{d\theta_{вих}(\tau)}{d\tau} + \theta_{вих}(\tau) = k\theta_{вх}, \quad (3)$$

де $\theta_{вих}(\tau)$ – залежність вихідної координати об'єкта керування від часу (напр., температури у сушильній камері). У початковий момент часу $\theta_{вих}(0) = 0$; $\theta_{вх}$ – стрибкоподібне збільшення вхідної дії (напр., температури теплоносія в калорифері); T – стала часу каналу регулювання, хв.

Спочатку експериментальні дані кривої розгону потрібно апроксимувати, для чого слід знайти рів'язки рівняння (3). Для вирішення цієї задачі можна скористатись методом розділення змінних. У результаті отримаємо таку функцію часу

$$\Delta\theta_{вих}(\tau) = \theta_{уст} \left(1 - \frac{\theta_{поч}}{\theta_{уст}} \right) \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{\tau}{T}\right) \right\}, \quad (4)$$

де $\theta_{поч}$ – початкове значення вихідної координати.

Із урахуванням (1) та (4) для апроксимації експериментальної кривої розгону потрібно вибрати таку функцію:

$$\Delta\theta_{вих}(\tau) = \theta_{уст} \left(1 - \frac{\theta_{поч}}{\theta_{уст}} \right) \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{\tau - \tau_{зап}}{T}\right) \right\}. \quad (5)$$

Отже, динамічними параметрами каналу регулювання є стала часу T , час запізнення $\tau_{зап}$ та коефіцієнт передачі k , який визначається за (2) безпосередньо з експериментальних даних. Для визначення T і $\tau_{зап}$ використаємо метод найменших квадратів:

$$S = \sum_{j=1}^N \left\{ \ln \left(1 - \frac{\Delta\theta_{вих}(\tau_j)}{\theta_{уст} - \theta_{поч}} \right) + \frac{\tau_j - \tau_{зап}}{T} \right\}^2 \rightarrow \min. \quad (6)$$

Тут процедуру розв'язування (6) через обмежений обсяг тез приводити не будемо, зазначимо лише, що він можливий, зокрема, завдяки застосуванню операції логарифмування. У результаті отримаємо математичну модель для визначення динамічних параметрів об'єкта керування:

$$\left\{ \begin{array}{l} T = \frac{NB^2 - D}{C - NAB}; \\ \tau_{зан} = A \frac{NB^2 - D}{C - NAB} + B, \end{array} \right. \quad (4)$$

де A , B , C та D – сталі, значення яких визначаються за експериментальними даними:

$$A = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \ln \left(1 - \frac{\Delta\theta_{вих}(\tau_j)}{\theta_{уст} - \theta_{поч}} \right); \quad B = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \tau_j;$$

$$C = \sum_{j=1}^N \tau_j \ln \left(1 - \frac{\Delta\theta_{вих}(\tau_j)}{\theta_{уст} - \theta_{поч}} \right); \quad D = \sum_{j=1}^N \tau_j^2,$$

де τ_j – j -те значення моменту часу, у який вимірювалась величина $\Delta\theta_{вих}$.

Як видно з рис. 1, запропонований підхід забезпечує ідентифікацію динамічних параметрів ($T=14,56$ хв; $\tau_{зан}=2,55$ хв; $k=4,03$) та цілком прийнятну апроксимацію кривої розгону об'єкта керування.

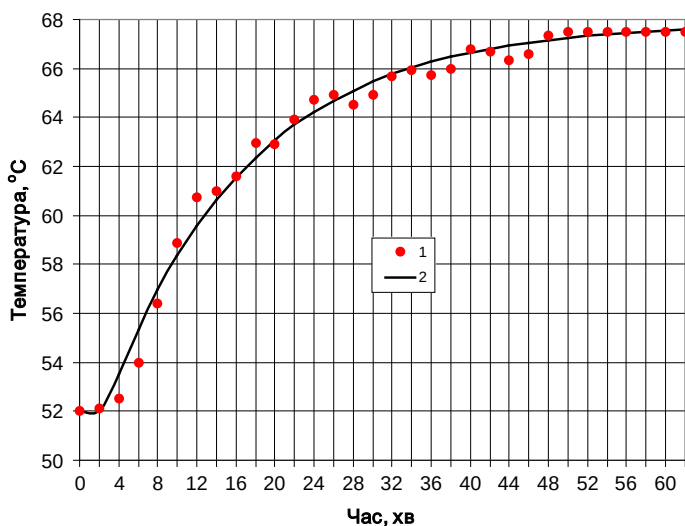


Рисунок 1 – Емпірична (1) і теоретична (2) криві розгону температури у лісосушильній камері

Тепер отримані значення динамічних параметрів об'єкта керування можна використати для вибору типу та налаштування параметрів регулятора, наприклад, як описано в [1].

Список використаних джерел:

1. Skogestad, S. (2003). Simple analytic rules for model reduction and PID controller tuning. *Journal of process control*, 13(4), 291-309. [https://doi.org/10.1016/S0959-1524\(02\)00062-8](https://doi.org/10.1016/S0959-1524(02)00062-8)
2. Aliane, N. (2024). Teaching experience for process identification using first - order - plus - time - delay models. *Computer Applications in Engineering Education*, 32(6), e22794. <https://doi.org/10.1002/cae.22794>
3. Maxim, A., & De Keyser, R. (2023). Estimation of first order plus dead time and second order plus dead time models from noisy step response data. *Asian Journal of Control*, 25(3), 1791-1804. <https://doi.org/10.1002/asjc.2999>

УДК 620.179

І. В. Рибіцький, докт. техн. наук, професор

О. І. Головатюк,

С. С. Войтенко, канд. техн. наук, доцент

В. Ю. Запека

*Харківський національний університет Повітряних Сил
імені Івана Кожедуба*

РОЗРОБЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ АРТИЛЕРІЙСЬКИХ СТВОЛІВ

На ефективність роботи артилерійських систем безпосередньо впливає технічний стан їх основних елементів і особливо стан стволів. Під час пострілу ствол піддається дії високих тисків, температур і значних динамічних навантажень, що призводить до розвитку процесів деградації фізико-хімічних характеристик металу ствола. Це в свою чергу спричиняє пришвидшення механічного зносу каналу ствола, ерозію, утворення мікротріщин, деформацію та зміну структури металу [1].

З огляду на це, для забезпечення надійності та безпечної експлуатації артилерійських систем, визначення технічного стану стволів є надзвичайно актуальним завданням, яке потребує застосування сучасних методів неруйнівного контролю. Одним із найбільш ефективних методів для контролю такого роду об'єктів є акустичний, який ґрунтується на реєстрації параметрів пружних хвиль ультразвукового діапазону, що виникають чи збуджуються в об'єкті.

При застосуванні ультразвукових методів контролю такі об'єкти як стволи артилерійських систем, не зважаючи на відносну свою геометричну простоту, створюють подекуди суттєві труднощі, оскільки для таких методів згадані об'єкти є об'єктами складної форми. Це призводить до ускладнення умов поширення ультразвукових коливань у тілі ствола, викликає труднощі під час розшифрування результатів контролю та, відповідно, вимагає суттєвого ускладнення методики контролю.

Для вирішення проблеми контролю таких об'єктів пропонується застосувати спеціально розроблену скануючу систему, яка складається з чотирьох ультразвукових п'єзоперетворювачів, які зафіксовані на однаковій відстані діаметрально відносно

поперечного січення ствола. Скануюча система разом зі стволом розміщена в акустичній ванні, заповненій рідиною для забезпечення акустичного контакту та має здатність обертатись навколо ствола, дозволяючи таким чином здійснювати ультразвукове сканування всього тіла ствола.

За інтенсивністю і часом проходження ультразвукових коливань в контактній рідині та тілі ствола, можна судити про наявність, розміри, місцезнаходження та характер дефекту, визначати овальність та величину зношення каналу ствола. Перевагами даної системи є швидкість контролю та можливість її застосування як в процесі виготовлення артилерійських систем, так і в процесі їх експлуатації [2].

Застосування пропонованої системи дозволить значно підвищити безпеку застосування та точність артилерійських систем в процесі їх експлуатації, оскільки величина зносу ствола безпосередньо впливає на початкову швидкість артилерійського снаряду

Список використаних джерел:

1. Рибіцький І.В., Войтенко С.С., Карпаш О.М., Запека В.І., Нікул С.О. Аналіз, обґрунтування та вибір методу контролю циліндричних об'єктів складної форми. Збірник наукових праць Військової академії (м. Одеса). – 2025. DOI: <https://doi.org/10.37129/2313-7509.2025.24.3>.
2. I. Rybitskyi, O. Holovatiuk. Acoustic Diagnostics of Artillery Barrels. р. 737-738. XXII міжнародна наукова конференція Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба “Новітні технології – для захисту повітряного простору”: тези доповідей, 08 – 09 квітня 2026 року. – Х.: ХНУПС ім. І. Кожедуба, 2026. – 988 с.

УДК 681.5:666.94:519.876

О. В. Самутін, магістрант**В. Ю. Денисюк**, канд. техн. наук, доцент*Луцький національний технічний університет*

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ПОДРІБНЕННЯ ЦЕМЕНТНОГО КЛІНКЕРУ НА ОСНОВІ ПРОГНОЗУЮЧИХ МОДЕЛЕЙ

Сучасна цементна промисловість характеризується високими вимогами до енергоефективності, продуктивності та якості готової продукції. Одним із найбільш енергоємних етапів цементного виробництва є процес подрібнення цементного клінкеру у кульових млинах, на який припадає значна частка загального енергоспоживання підприємства. У зв'язку з цим актуальним завданням є підвищення ефективності систем автоматичного керування та оптимізація режимів роботи технологічного обладнання.

Ефективність процесу подрібнення визначається стабільністю гранулометричного складу готового цементу, продуктивністю агрегатів та рівнем енергоспоживання. Однак процес характеризується складною структурою, значною кількістю взаємопов'язаних параметрів, стохастичним характером руйнування частинок матеріалу та впливом зовнішніх збурень. Традиційні системи керування, побудовані на основі ПІД-регуляторів, не забезпечують достатньої точності та адаптивності в умовах зміни властивостей сировини й режимів роботи обладнання [1, 2].

У роботі розглянуто процес подрібнення цементного клінкеру у замкненому циклі як об'єкт автоматичного керування. Основними входними параметрами системи є продуктивність конвеєра-подавача, гранулометричний склад вихідного матеріалу та швидкість обертання класифікатора. До збурювальних факторів належать зміни фізико-механічних властивостей клінкеру, нестабільність роботи млина та сепаратора, а також коливання технологічних режимів. Вихідними параметрами є продуктивність системи, гранулометричний склад готового цементу та споживана потужність млина.

Для опису процесу подрібнення розроблено математичну модель замкненого контуру на основі теорії ланцюгів Маркова.

Особливістю моделі є врахування випадкового характеру переходу частинок між фракціями та стохастичних властивостей процесу руйнування матеріалу. Матеріальні потоки представлені у вигляді векторів стану, а процеси подрібнення й класифікації описуються матрицями переходів.

Запропонована модель дозволяє моделювати зміну гранулометричного складу цементного клінкеру під час проходження через кульовий млин та класифікатор. Для оцінювання параметрів використано результати експериментальних досліджень і статистичні дані виробничого процесу. Чисельне моделювання у середовищі MATLAB підтвердило адекватність розробленої моделі. Встановлено, що похибка між експериментальними та розрахунковими даними становить 3-5 %, що свідчить про достатню точність моделі для задач автоматичного керування.

Для підвищення ефективності функціонування технологічного комплексу запропоновано систему прогнозуючого керування на основі методу Model Predictive Control (MPC). Система забезпечує прогнозування майбутнього стану процесу та формування оптимальних керуючих впливів з урахуванням технологічних обмежень. До складу системи входять оцінювальний модуль, прогнозуючий регулятор, технологічні датчики та локальні контури керування.

Результати моделювання показали, що застосування прогнозуючого керування дозволяє стабілізувати гранулометричний склад готового цементу, підвищити продуктивність технологічного комплексу та знизити енергоспоживання процесу подрібнення. Отримані результати можуть бути використані при модернізації існуючих систем автоматизації цементного виробництва та створенні сучасних інтелектуальних систем керування технологічними процесами.

Список використаних джерел:

1. Хорольський В. П., Коренець Ю. М. Автоматизація виробничих процесів: підручник. Кривий Ріг: ДонНУЕТ, 2022. 400 с.
2. Єремєєв І. С., Кисельов В. Б. Автоматизовані системи управління технологічними процесами: навч. посіб. Одеса: Олді+, 2022. 324 с.

УДК 621.9.018:658.562

В. Д. Чалий, канд. техн. наук, асистент;**С. А. Мороз**, канд. техн. наук, доцент*Луцький національний технічний університет*

ДІАГНОСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТОЧНОГО МАШИНОБУДУВАННЯ

У сучасному точному машинобудуванні забезпечення стабільної якості продукції є одним із ключових факторів підвищення конкурентоспроможності підприємств. Особливої актуальності набуває проблема контролю технологічних процесів та технічного стану обладнання при виготовленні високоточних деталей, зокрема кілець підшипників. Порушення параметрів обробки, зношення обладнання або недостатня точність вимірювань можуть призводити до виникнення дефектів і зниження експлуатаційної надійності виробів [1].

Ефективним шляхом вирішення даної проблеми є впровадження систем діагностування технологічного процесу та обладнання, інтегрованих у структуру автоматизованого керування виробництвом. Такі системи забезпечують багатопараметровий контроль стану обладнання, параметрів обробки та якості готової продукції.

Система діагностування технологічного процесу може бути представлена як багатоконтурна система зворотного зв'язку, у межах якої здійснюється контроль параметрів технологічного процесу, обладнання та якості виготовлених деталей. Перший контур забезпечує активний контроль процесу обробки в автоматичному режимі, тоді як другий контур орієнтований на оцінку технічного стану обладнання та прийняття керуючих рішень оператором або експертною системою [2].

Методологічною основою побудови системи діагностування є системний підхід, який дозволяє структурувати її на окремі взаємопов'язані підсистеми:

- організаційну;
- технічного забезпечення;
- науково-методичного забезпечення;
- інформаційну.

Організаційна підсистема забезпечує координацію діяльності персоналу та прийняття рішень щодо управління якістю продукції.

Підсистема технічного забезпечення включає апаратні засоби контролю, вимірювальні системи, давачі та комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні канали. Науково-методична підсистема відповідає за розробку методів контролю, алгоритмів діагностування та математичних моделей об'єктів контролю. Інформаційна підсистема реалізує збір, обробку, збереження та передачу даних між усіма елементами системи.

Якість поверхонь кочення значною мірою визначається точністю формотворчих переміщень, рівнем вібрацій обладнання, стабільністю режимів обробки та фізико-механічними характеристиками поверхневого шару. Для підвищення точності шліфування доцільним є використання систем акустико-емісійного контролю, які дозволяють оперативно оцінювати стан процесу обробки та своєчасно коригувати технологічні режими.

Застосування неруйнівних методів контролю, зокрема вихрострумового контролю, забезпечує виявлення дефектів поверхневого шару, таких як припали, тріщини та локальні зміни твердості. Автоматизація контролю дозволяє мінімізувати вплив людського фактора, скоротити кількість невідповідної продукції та підвищити довговічність підшипників.

Список використаних джерел:

1. Oppenheim A. V.; Willsky A. S. & Hamid S. Signals and systems. URL: <https://ocw.mit.edu/courses/res-6-007-signals-and-systems-spring-2011/> (дата звернення: 18.04.2026 р.).
2. Shaw M. C. Principles of Abrasive Processing, Clarendon Press., Gloucestershire, England. URL: <https://global.oup.com/academic/product/principles-of-abrasive-processing-9780198590217?cc=ua&lang=en&> (дата звернення: 20.04.2026 р.).

**Секція 3. ІНФОРМАЦІЙНО-
ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ
МОНІТОРИНГУ АВТОМАТИЗОВАНИХ
ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ**

**Section 3. INFORMATION AND MEASURING
SYSTEMS FOR MONITORING AUTOMATED
TECHNOLOGICAL SYSTEMS**

UDC 681.4.004

**V. S. Antonyuk, Dr. Sc. (Engineering), Professor,
S. P. Vysloukh, PhD in Engineering, Associate Professor,
O. V. Voloshko, Senior Lecturer**

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Beresteiskyyi Prospect, 37, Kyiv, Ukraine

MODELING AND OPTIMIZATION OF PRODUCTION SYSTEMS OPERATION

The development of methods for modeling and optimizing the operation of production systems is a promising scientific and technical task aimed at increasing the modern production efficiency, ensuring stable product quality in conditions of automation is promising.

It has a great importance, since the practical application of optimization methods to create an optimal structure of the production system will reduce production costs, and therefore reduce the cost of manufacturing products, without investing significant funds in re-equipment, technological equipment's development, etc.

When designing technological processes and the operation of production equipment, the main set of tasks is related to the selection of the best option for the production system based on a set of technical and economic indicators. These tasks have several varieties, which correspond to three levels of optimization.

The optimization first level consists in choosing the best technical idea or operation principle of the object being designed; the second - in finding the best structure or scheme within the framework of the chosen operation principle; the third - in determining the best parameter values for the chosen structure (scheme) [1].

To solve this problem, in [2] mathematical methods for modeling production systems were theoretically substantiated and practically implemented, the adequacy of mathematical models and optimization methods was proven, rational optimization methods were selected, and software was created that implemented the selected methods in practice.

For this purpose, in [3], an analysis of methods for modeling and optimizing production technological systems was performed, and the most effective methods for solving these problems for discrete production were selected.

The main provisions of infinite-valued logic and ordinal determinants, on which the structural-logical approach to the study of

complex systems is based, including production systems in instrument making [2], are considered. The corresponding algorithms that implement this method of modeling production systems and their further optimization are presented.

It is shown that Petri nets are also an effective tool for modeling discrete processes. Their main features are presented - the ability to reflect parallelism, asynchrony, and hierarchy of simulated objects by simpler means than when using other modeling tools.

This has led to the widespread use of Petri nets for the study of complex hierarchical discrete systems, for example, flexible production systems. The corresponding algorithms are presented that implement analytical and simulation modeling of technological systems.

Список використаних джерел:

1. Antonyuk V.S., Vysloukh S.P. Information technology in deciding of technological problems in instrument making and machine engineering. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2013 – (Вісник / Національний університет "Львівська політехніка" ; № 760). – С. 101-105.

2. Вислоух С.П. Інформаційні технології в задачах технологічної підготовки приладо- та машинобудівного виробництва: моногр. / С.П. Вислоух. – К.: НТУУ "КПІ", 2011. – 488 с.

3. Vysloukh S.P., Antonyuk V.S., Barandych K.S., Voloshko O.V. Mathematical modeling of automated production systems // IV International scientific conference « Mathematical modeling » – 09 - 12.12.2020 – Borovets, Bulgaria – 2020. – p. 41-47.
<http://mathmodel.eu/sbornik/2020.pdf>

UDC 621.317.3:621.396.6

T. S. Ostafiichuk, master's degree student

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

INFORMATION-MEASUREMENT ASSESSMENT OF EFFECTIVE EFFICIENCY OF THERMISTOR POWER SENSORS FOR MICROWAVE SIGNALS

The power of electromagnetic oscillations is one of the main physical quantities that characterizes the intensity of signals in the high-frequency and microwave ranges. The reliability of power measurement is important for monitoring the parameters of radio engineering systems, communication equipment, transmitting devices and radar systems [1]. In the structure of an information-measurement system, the primary measuring transducer plays an important role, since its metrological characteristics largely determine the accuracy of the measurement result [2].

Thermistor sensors occupy an important place among microwave power measuring instruments. Their operating principle is based on the conversion of electromagnetic energy into heat and the corresponding change in the electrical resistance of the sensitive element. Such sensors can be used not only as working measuring instruments, but also as means for transferring the size of the power unit [2].

One of the key metrological characteristics of a thermistor sensor is effective efficiency. It characterizes what part of the power supplied to the sensor is actually absorbed by the sensitive element and converted into a measurable effect. According to the literature, effective efficiency is equal to unity only in the ideal case, when all the power entering the sensor is absorbed by the measuring element and is not lost in the structural parts of the sensor [1]. Incorrect determination or neglect of this characteristic may lead to an additional systematic component of measurement error.

The measurement result is also affected by the reflection coefficient of the sensor, matching with the signal source, frequency dependence of the calibration factor, temperature conditions, stability of the sensitive element and calibration uncertainty [1; 3]. Sensor matching with the measuring path is especially important, since mismatch errors may be one of the main components of microwave power measurement uncertainty [3].

Thus, effective efficiency is an important characteristic of thermistor power sensors, which directly affects the reliability of microwave signal power measurement. Its correct consideration makes it possible to reduce measurement error, improve the accuracy of results and ensure metrological traceability of power measurements [1; 4].

References

1. Keysight Technologies. *Fundamentals of RF and Microwave Power Measurements. Part 1: Introduction to Power, History, Definitions, International Standards and Traceability*. Application Note 5988-9213EN, 2017.
2. Keysight Technologies. *Fundamentals of RF and Microwave Power Measurements. Part 2: Power Sensors and Instrumentation*. Application Note 5988-9214EN, 2014.
3. Rohde & Schwarz. *Voltage and Power Measurements: Fundamentals, Definitions, Products*. Rohde & Schwarz, 1998.
4. Fantom A. *Radio Frequency and Microwave Power Measurement*. London: Peter Peregrinus Ltd., 1990.

УДОСКОНАЛЕННЯ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЗЕНІТНОЇ САМОХІДНОЇ АРТИЛЕРІЙСЬКОЇ УСТАНОВКИ GERARD 1A2 ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Сучасний досвід бойового застосування зенітних самохідних артилерійських установок (ЗСАУ) засвідчує критичну важливість їх безвідмовної роботи. В умовах інтенсивного захисту повітряного простору бойова ефективність комплексу Gerard 1A2 напряму залежить від стану радіолокаційних, обчислювальних та приводних компонентів [1]. Водночас існуюча штатна система оцінки технічного стану, що базується на вбудованих засобах контролю, має переважно реактивний характер і фіксує несправності лише за фактом їх виникнення, що призводить до небажаних простоїв техніки. Обмеженість такого підходу полягає в тому, що він носить характер ремонту після поломки, тоді як вплив складних кліматичних умов, вібрацій та значних навантажень викликає поступову деградацію обладнання, яку неможливо вчасно зафіксувати традиційними методами.

Для підвищення достовірності оцінки технічного стану та забезпечення можливості прогнозування відмов ЗСАУ запропоновано використання гібридних архітектур штучних нейронних мереж. На основі аналізу конструкції сформовано комплекс діагностичних параметрів (характеристики живлення, вібрації приводів, початкової швидкості снарядів), які після попередньої обробки слугують входними даними для моделей [2]. Процес підготовки цих даних є критично важливим і включає фільтрацію шумів, мін-макс нормалізацію та синхронізацію багатоканальної телеметрії за єдиною часовою шкалою.

Застосування поєднання рекурентних (LSTM) мереж для аналізу часових рядів телеметрії та згорткових (CNN) мереж для обробки спектральних характеристик дозволяє виявляти нелінійні залежності між станом підсистем та експлуатаційними показниками [3]. Зокрема, моделі LSTM ефективно аналізують тривалі зміни у параметрах енергоживлення, а мережі CNN

забезпечують високоточний віброаналіз механічних елементів башти. Це забезпечує ідентифікацію прихованих деградаційних процесів і раннє виявлення передвідмовних станів радіоелектронних та механічних вузлів ще до їх фактичного виходу з ладу.

Інтеграція розроблених нейромережевих алгоритмів з існуючими даними системи діагностики створює надійну аналітичну базу для ремонтних груп. Практична реалізація запропонованого підходу дозволить перейти від стратегії планового ремонту або ремонту після відмови до обслуговування за фактичним станом, що забезпечить підвищення бойової готовності підрозділів протиповітряної оборони та скорочення витрат на відновлення техніки. Окрім того, очікуваний економічний ефект полягає у суттєвому зменшенні витрат на складну логістику запасних частин та мінімізації кількості аварійних відмов у польових умовах.

Список використаних джерел:

1. A. F. Karash and T. Weber, "Operational Characteristics of the Flakpanzer Gepard 1A2," Bundeswehr Technical Reports, Berlin, 2019.
2. Flakpanzer Gepard — Technical Manual, Rheinmetall GmbH, 2003.
3. І. А. Терейковський, Д. А. Бушуєв, and Л. О. Терейковська, Штучні нейронні мережі: базові положення: навчальний посібник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022.

УДК 661.183.2:681.2

О. С. Кохан, аспірант

Національний університет «Одеська політехніка»

К. О. Дядюра, докт. техн. наук, професор

Одеський державний аграрний університет

АВТОМАТИЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ АКТИВОВАНОГО ВУГІЛЛЯ

Активоване вугілля є високоефективним адсорбційним матеріалом, який широко використовується у системах очищення води, повітря, технологічних газів, у хімічній, фармацевтичній та харчовій промисловості. Основною особливістю активованого вугілля є наявність розвиненої пористої структури та великої питомої поверхні, що забезпечує ефективне поглинання шкідливих речовин і газових домішок [1]. Одним із перспективних напрямків розвитку адсорбційних матеріалів є використання кам'яного вугілля як основної сировини для отримання активованого вугілля [2].

Якість кінцевого продукту визначається складною сукупністю показників: питома поверхня, пористість, адсорбційна здатність (за йодом або метиленовим синім), механічна міцність, зольність, фракційний склад. Традиційний лабораторний контроль цих параметрів є інерційним, що не дозволяє оперативно корегувати технологічний процес. У цій роботі запропоновано концепцію автоматизації контролю якості активованого вугілля, інтегровану в сучасні парадигми Індустрії 4.0/5.0 з використанням інтелектуальних виробничих систем, мехатронних комплексів та інформаційно-вимірювальних систем моніторингу.

Для підвищення ефективності управління якістю активованого вугілля необхідна розробка та впровадження автоматизованих систем контролю, здатних працювати в реальному часі. Основними напрямками автоматизації є:

- вхідний контроль сировини: автоматизований аналіз гранулометричного складу та вологості кам'яного вугілля;
- контроль параметрів процесу карбонізації та активації: безперервне вимірювання температури, тиску, витрат парогазової суміші;
- вихідний контроль готового продукту: експрес-методи оцінки адсорбційних властивостей (наприклад, за допомогою

спектроскопічних або оптичних сенсорів), автоматичне визначення насипної щільності та механічної міцності.

В роботі досліджується багатокомпонентна інформаційно-вимірювальна система (ІВС) моніторингу показників якості активованого вугілля в реальному часі. До її складу входять:

- ІВС гранулометрії: оптичний аналізатор розмірів частинок на транспорті (лазерна дифракція) для контролю фракційного складу кам'яного вугілля після дроблення.

- ІВС адсорбційної здатності: газоаналітичний тракт з NDIR-сенсорами для оцінки динаміки поглинання модельної речовини (наприклад, бензолу або йоду) на виході з активатора.

- ІВС міцності: акустико-емісійний метод визначення механічної стійкості гранул у псевдозрідженому шарі.

Всі вимірювальні канали об'єднані в єдину мережу з протоколом OPC UA, що забезпечує синхронізацію даних із MES/ERP системами.

Використання автоматизованих систем керування дозволяє:

- зменшити коливання температури;
- забезпечити стабільну пористу структуру;
- підвищити адсорбційну активність;
- зменшити витрати енергії;
- підвищити безпечність виробництва.

Список використаних джерел:

1. Tieng H., Lai C.Y., Fan S.X. et al. Explainable AI-based facility control system for energy saving and carbon reduction // J Mech Sci Technol. – 2025. – Vol. 39. – P. 2301–2310.

2. Daulay A., Yassaroh Y., Huda M. et al. Activated Carbon Derived from Coal and its Application for Wastewater Treatment // Mining, Metallurgy & Exploration. – 2026. – Vol. 43. – P. 1383–1399.

Р. Р. Курка, аспірант

Б. П. Поберейко, докт. техн. наук, професор

Національний лісотехнічний університет України

ІНТЕГРАЦІЯ ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ ДЕРЕВИНИ У ТИПОВУ АВТОМАТИЗОВАНУ СИСТЕМУ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ СУШІННЯ

Сучасний стан розвитку технічних засобів та алгоритмів керування процесами конвективного сушіння деревини [1] можна проілюструвати за допомогою наступної діаграми (рис. 1).

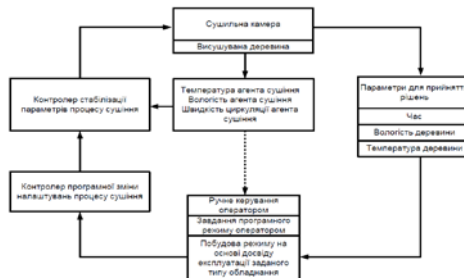


Рисунок 1 – Інформаційне забезпечення технології конвективного сушіння деревини

Об'єкт керування – сушильна камера із завантаженою в неї висушуваною деревиною входить до двох контурів автоматичного та програмного керування. Перший – внутрішній контур відпрацьовує задані параметри з достатньою точністю і швидкістю. Аналізуючи зовнішній контур можна побачити, що основними параметрами для прийняття рішень і програмного керування процесом сушіння є час, вологість та температура деревини. Прийняття рішень покладено на людину, яка може вручну вибирати режим, сформувати програмну зміну налаштувань або застосувати базу знань про процес сушіння.

Одним із способів удосконалення технології конвективного сушіння є використання інформації про напружений стан висушуваної деревини. Спосіб його теоретичного аналізу розглянуто в [2], а практична імплементація технічних засобів контролю напружень здійснена шляхом використання програмованого логічного контролера (рис. 2).

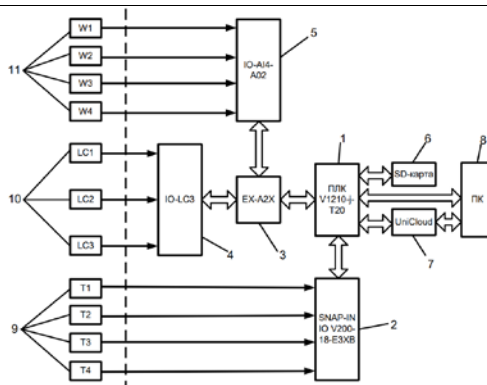


Рисунок 2 – Функціональна схема пропонованого вимірювального комплексу: 1 – ПЛК; 2 – модуль розширення для вимірювання температури; 3 – блок узгодження; 4 – модуль обробки сигналів вагових комірок; 5 – модуль обробки нормованих сигналів; 6 – вбудований накопичувач інформації; 7 – мережевий роутер для взаємодії із хмарним середовищем; 8 – ЕОМ; 9 – давачі температури; 10 – вагові комірки; 11 – нормовані вимірювальні перетворювачі

Інтеграція засобів контролю напруженого стану деревини у типову автоматизовану систему керування процесом сушіння дозволяє здійснювати неперервний супервізорний контроль, накопичувати базу знань про процес та фіксувати динаміку розвитку напружень у висушуваних пиломатеріалах. Це в свою чергу створює передумови переходу до повністю автоматичної корекції режимів сушіння в залежності від зміни напруженого стану деревини.

Список використаних джерел:

1. Курка, Р. Р., & Поберейко, Б. П. (2025). Застосовність наявних методів ідентифікації полів напружень у пиломатеріалах для автоматизованих систем керування процесом сушіння деревини. *Scientific Bulletin of UNFU*, 35(2), 101-109. <https://doi.org/10.36930/40350211>
2. Курка, Р. Р. (2025). Математичне моделювання розвитку полів напружень у висушуваних пиломатеріалах. *Scientific Bulletin of UNFU*, 35(6), 33–40. <https://doi.org/10.36930/40350604>

**РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ТА СТРУКТУРИ СИСТЕМИ
АВТОМАТИЧНОЇ СТАБІЛІЗАЦІЇ ТЯГОВОГО ФАКТОРА
СТРІЧКИ ТРАНСПОРТЕРА В УМОВАХ
НЕРІВНОМІРНОГО НАВАНТАЖЕННЯ**

Натяжний пристрій конвеєра 2Л100У встановлений на хвостовій частині. Попередній натяг стрічки проводиться за допомогою лебідки, подальше керування натяжним пристроєм здійснюється електропривод. При завантаженні конвеєра натяг вантажної гілки збільшується і, як наслідок, необхідне значення тягового фактору порушується. Реле тиску з гідродатчиком у ланцюзі управління електроприводу, включають електродвигун, коли натяг у стрічці стає менше мінімального, і вимикає електродвигун лебідки при натягу, досягає максимального значення, підтримуючи таким чином близьке до необхідному натягу стрічки.

Для регулювання тягового фактору необхідно мати можливість визначати натяг у характерних точках конвеєра в даний момент часу. Розроблена модель конвеєра дозволяє вимірювати виникаючі натягу $S_i(t)$, $i=1,5$ і у кожній з п'яти точок стрічки, де розташовуються зосереджені маси розрахункової схеми. Передбачається здійснити синтез лінійних алгоритмів керування щодо керованої змінної. Такий підхід до синтезу регулятора натягу дає можливість стабілізувати тягову здатність приводу конвеєра, як при роботі з постійною швидкістю, так і при переведенні конвеєра з однієї швидкості рух стрічки на іншу.

Для розробки алгоритму системи стабілізації тягового фактору використовується функціональний зв'язок між значенням тягового фактору та зусиллям, що створює натяжний пристрій

конвеєра. Згідно співвідношенню $E^{из} = \frac{S_4(t)}{S_1(t)}$ для отримання

поточного значення тягового фактору, необхідно знати поточне натяг у гілки, що біжить, $S_1(t)$ і натяг у набігає гілки $S_4(t)$. При зміні швидкості руху конвеєра змінюються розтягування ділянок стрічки.

Сформований алгоритм

$$x_1, x_2, x_4, x_5 \rightarrow_{(3.2)} \Delta_1, \Delta_4 \rightarrow_{(3.4)} S_1, S_4 \rightarrow_{(3.1)} E^{\mu\alpha} \rightarrow_{(3.5)} \varepsilon^{\mu\alpha} \rightarrow_{(3.6)}$$

визначив структуру підсистеми системи стабілізації тягового фактору, що представлена на рисунку 1.

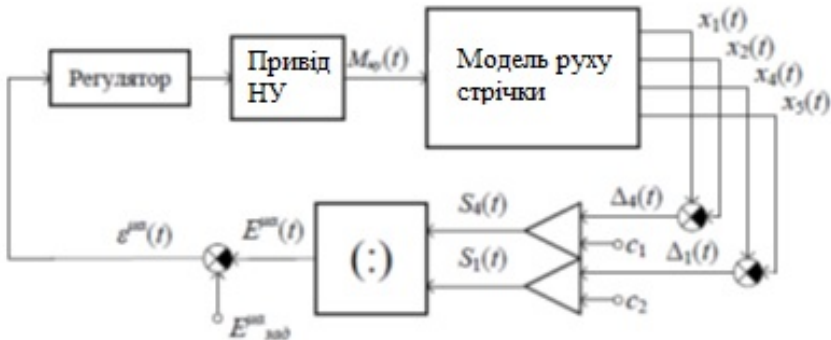


Рисунок 1 – Структурна схема підсистеми автоматичної системи стабілізації тягового фактору

Для оцінки ефективності розробленого алгоритму та структури системи автоматичної стабілізації тягового фактору стрічкового конвеєра виконано моделювання процесу зміни тягового фактору залежно від зовнішнього обурення у вигляді зміни вантажопотоку і, як наслідок, зміна швидкості руху стрічки.

Список використаних джерел:

1. Проць Я.І., Савків В.Б., Шкодзінський О.К., Ляшук О.Л. Автоматизація виробничих процесів: навч. посіб. Тернопіль: ТНТУ ім. І.Пулую, 2011. 344с.
2. Автоматизація виробничих процесів: Підручник. / І.В. Ельперін, О.М. Пупена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед. К. Видавництво Ліра-К, 2015. 300 с.

УДК 681.5

А. Г. Романчук, аспірант;

А. В. Яворський, канд. техн. наук, доцент

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

МОНІТОРИНГ ТА ВИМІРЮВАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ В УПРАВЛІННІ МІКРОКЛІМАТОМ ГРОМАДСЬКИХ БУДІВЕЛЬ В УМОВАХ ДЕФІЦИТУ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ

В Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу (ІФНТУНГ) були проведені дослідження використання альтернативних систем опалення, які можуть бути доступні для громадських будівель, особливо для приміщень, висотою понад 3 м [1]. Для таких цілей найбільш доцільними до застосування є стельові інфрачервоні обігрівачі, ефективність роботи яких проте досить часто знижується через недосконалість систем керування таким обладнанням. В той же час, основна складність системи інфрачервоного опалення пов'язана з тим, що принцип тепловіддачі нагрівального обладнання не узгоджується зі способом вимірювання температури, який використовується для керування. Інфрачервоні нагрівачі передають тепло переважно через випромінювання, нагріваючи безпосередньо поверхні предметів – зокрема столи, підлогу чи інші елементи інтер'єру, тоді як повітря прогрівається опосередковано, значно повільніше та нерівномірно. У результаті формується ситуація, коли поверхні вже мають комфортну температуру близько 20°C, але повітря, особливо в зоні розташування термостата, ще не досягає заданого рівня. Через це система керування не фіксує досягнення необхідних умов і продовжує подавати сигнал на роботу нагрівачів. Така невідповідність призводить до подальшого, часто надмірного, нагрівання поверхонь, що не тільки знижує комфорт, а й спричиняє зайві витрати енергії та загальну неефективність роботи системи опалення.

Таким чином, виникає задача пошуку оптимального рішення щодо якісного контролю саме комфортних умов мікроклімату та, відповідно, комфортного перебування людей всередині приміщень, а не лише значень температури повітря. Для цього слід розробити адаптивну інформаційно-вимірювальну систему, яка дозволить контролювати необхідні інформативні параметри та дозволить

якісно керувати роботою системи інфрачервоного обігріву, базуючись на кількох показниках. Важливим моментом повинен також бути якісний облік спожитої енергії, що може бути реалізовано за прикладом реалізованої та впровадженої в дію інформаційно-вимірювальної системи, яка функціонує на кафедрі інформаційно-вимірювальних технологій та енергетичного менеджменту ІФНТУНГ [2]. Дана система дозволяє також фіксувати параметри мікроклімату всередині приміщень, зокрема значення температури, відносної вологості повітря та вмісту CO₂.

Окремо слід акцентувати увагу на якісному обліку використання електричної енергії системою інфрачервоного опалення та, відповідно, питанню підвищення енергетичної ефективності інженерних систем будівель та споруд, що є важливим питанням сьогодення в умовах необхідності ефективного використання енергії в усіх сферах діяльності нашої держави.

Список використаних джерел:

1. Яворський, А., Жовтуля, Л., Цих, В., Рибіцький, І., & Худицька, Ю. (2024). Дослідження ефективності застосування систем електроопалення для навчальних аудиторій університету. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*, 331(1), 381-389. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-331-58>.
2. Яворський, А. В., Цих, В. С., Карпаш, М. О., & Жовтуля, Л. Я. (2022). Інформаційно-вимірювальна система моніторингу споживання енергоресурсів для будівлі університету. *Методи та прилади контролю якості*, (2(49)), 46–57. [https://doi.org/10.31471/1993-9981-2022-2\(49\)-46-57](https://doi.org/10.31471/1993-9981-2022-2(49)-46-57).

УДК 621.311.243:004.7

А. В. Яворський, канд. техн. наук, доцент

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

М. О. Карпаш, докт. техн. наук, професор

Університет Короля Данила

С. О. Максим'юк, PhD, доцент

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

ЦИФРОВІ ПЛАТФОРМИ МОНІТОРИНГУ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ ЯК ІНСТРУМЕНТ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ РОЗУМНОГО МІСТА

Для забезпечення ефективного контролю за об'єктами відновлюваної енергетики в Івано-Франківську було запроваджено новітній цифровий інструмент моніторингу громадських сонячних електростанцій. Ця ініціатива реалізується під егідою міжнародного проекту U_CAN (Ukraine-Climate, Action, Nature) [1]. Основою для розгортання відкритого вебсервісу, що доступний за адресою asempv.escoua.com/uk/p/ucan/, стала вітчизняна інноваційна розробка - система ASEMPV [2]. Головна мета платформи полягає у формуванні прозорого механізму управління «зеленими» потужностями, які функціонують на базі провідних закладів вищої освіти міста.

На сьогодні система консолідує в режимі реального часу робочі параметри фотоелектричних станцій Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (ІФНТУНГ) та Карпатського національного університету імені Василя Стефаника. Важливою функціональною перевагою ASEMPV є її можливості як платформи-агрегатора, що успішно вирішує проблему технологічної неоднорідності обладнання. Муніципальні сонячні електростанції часто комплектуються інверторами від абсолютно різних світових брендів (таких як Huawei, SMA, Fronius, Solis, Sungrow, DEYE тощо). Замість використання розрізнених фірмових застосунків для кожної локації, система уніфікує всі потоки даних. Це дозволяє сформувати єдину інформаційну мережу та надати користувачам комплексну картину роботи енергосистеми (рис. 1).

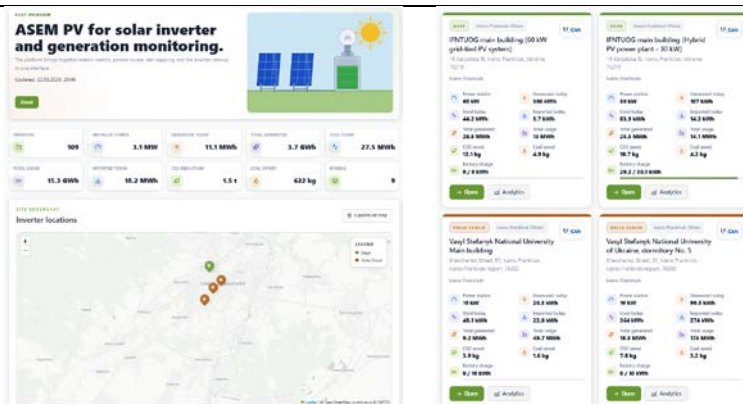


Рисунок 1 – Візуалізація роботи громадських сонячних електростанцій м. Івано-Франківська

Окрім технічного складника, проект робить потужний акцент на відкритості аналітики для громадськості. Кожен мешканець міста має змогу відстежувати обсяги згенерованої чистої електроенергії та динаміку скорочення викидів CO₂. Водночас відкриті масиви даних ASEMPV мають значну науково-освітню цінність. Студентська та дослідницька спільноти ІФНТУНГ і КНУВС отримали доступ до реальної емпіричної бази для вивчення ефективності ВДЕ у специфічних кліматичних умовах Прикарпаття. Запуск такого сервісу формує інноваційний стандарт муніципальної прозорості та наближає Івано-Франківськ до цілей кліматичної нейтральності.

Список використаних джерел:

1. Проект U_CAN. (н. д.). Ініціатива з посилення кліматичної стійкості громад через впровадження ВДЕ.. Отримано з <https://www.ucan-ukraine.eu/uk>.
2. ASEMPV. (н. д.). Мультибрендовий моніторинг для сонячної енергетики.. Отримано з <https://asempv.escoua.com/uk/>

УДК :621.311.243

А. В. Яворський, канд. техн. наук, доцент;

В. С. Цих, канд. техн. наук, доцент;

Р. Б. Парандій, студент, гр. ІВЕ-22-1

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

УНІВЕРСАЛЬНА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ МЕРЕЖЕВОЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ НА БАЗІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ SMART-MAIC

Ключовим інструментом для забезпечення стабільної та ефективної роботи мережевої фотоелектричної станції (ФЕС) є інформаційно-вимірювальна система моніторингу. Головною проблемою існуючих систем від виробників інверторів є недостатня частота оновлення даних (зазвичай кожні 5 хвилин), що призводить до втрати інформації про динамічні зміни в системі. Також значущою проблемою є неможливість інтеграції пристроїв різних виробників та відсутність функцій для підключення зовнішніх датчиків.

Вирішенням цих проблем є впровадження незалежної універсальної системи на базі «смарт»-енергомоніторів української компанії smart-MAIC [1]. Ці пристрої забезпечують високу дискретність даних: у режимі реального часу показання оновлюються кожні 5 секунд, а на хмарному сервері зберігаються з хвилинною деталізацією.

Пристрої smart-MAIC мають універсальний корпус для монтажу на DIN-рейку та використовують Wi-Fi для передачі даних, що значно здешевлює встановлення системи моніторингу. Для візуалізації використовується додаток smart-MAIC Dashboard, який дозволяє гнучко налаштовувати віджети для контролю генерації ФЕС, споживання окремих навантажень та параметрів мережі. Так само поточні дані доступні на WEB сторінці самого пристрою. Приклад інформаційної панелі системи моніторингу однофазної мережевої ФЕС потужністю 3 кВт на базі інвертора Fronius наведений на рис. 1.



Рисунок 1 – Приклад інформаційної панелі системи моніторингу однофазної мережевої ФЕС на базі пристроїв smart-MAIC

Дослідження показало, що розроблена універсальна інформаційно-вимірювальна система на базі інтелектуальних приладів smart-MAIC є конкурентоспроможною альтернативою штатним системам моніторингу. Основні переваги smart-MAIC включають високу гнучкість, широкую сумісність, інтуїтивний інтерфейс і багатофункціональність. Це робить її привабливим варіантом для користувачів, які шукають персоналізоване та адаптивне рішення для моніторингу ФЕС.

Список використаних джерел:

1. Smart-MAIC. Smart meters for any kind of consumptions.
URL: <https://smart-maic.com/uk/>.

**Секція 4. МЕХАТРОНІ ТА
РОБОТИЗОВАНІ КОМПЛЕКСИ**

**Section 4. MECHATRONIC AND ROBOTIC
COMPLEXES**

ЗАСТОСУВАННЯ РОБОТИЗОВАНИХ СИСТЕМ У СКЛАДСЬКІЙ ЛОГІСТИЦІ

У сучасних умовах цифрової економіки та стрімкого розвитку електронної торгівлі до складської логістики висуваються дедалі вищі вимоги щодо швидкості, надійності та гнучкості обробки замовлень. Зростання обсягів онлайн-продажів, скорочення термінів доставки та підвищена варіативність попиту зумовлюють необхідність впровадження нових технологічних рішень у діяльність розподільчих центрів. Одним із найбільш перспективних напрямів є використання роботизованих систем, здатних забезпечити безперервність і масштабованість логістичних процесів.

Роботизовані системи все частіше застосовуються у функціонуванні сучасних складів і розподільчих центрів. Їх ключовою перевагою є здатність працювати у режимі 24/7, що дозволяє суттєво підвищити експлуатаційну ефективність складської інфраструктури [1]. Крім того, робототехніка забезпечує високий рівень гнучкості в управлінні змінними вимогами попиту, мінімізуючи вплив людського фактора на якість та швидкість виконання операцій.

У внутрішній логістиці використовується кілька типів складських роботів, що відрізняються за своїм призначенням та функціональними можливостями. До них належать мобільні роботи для транспортування вантажів, роботи для автоматизованої комплектації замовлень, а також інтегровані підйомно-транспортні системи з роботизованим керуванням. Наявність такого різноманіття дозволяє складам підбирати технічні рішення відповідно до специфіки конкретних процесів, зокрема переміщення запасів, сортування та відбору товарів.

На етапі проєктування та планування складу одним із ключових завдань є прийняття рішень щодо вибору апаратного та робототехнічного забезпечення[2]. Основною метою при цьому є максимізація пропускну здатності складської системи за оптимального використання просторових і ресурсних обмежень.

На вибір технологій впливають такі параметри, як конфігурація фізичної схеми складу, чисельність роботів і підйомників, а також розміщення зон завантаження і розвантаження та робочих місць операторів.

Для складів і розподільчих центрів з високою пропускнуою спроможністю доцільним є використання багатомодульних роботизованих систем [3]. Такі системи характеризуються підвищеною надійністю, можливістю масштабування та стійкістю до відмов окремих компонентів.

З урахуванням зростаючих потреб бізнесу та постійного вдосконалення технологій роботизовані системи дедалі більше орієнтуються на специфічні вимоги окремих галузей і підприємств. Хоча робототехніка вже давно стала стандартом в обробній промисловості, внутрішня логістика лише розкриває свій потенціал автоматизації та має значні перспективи для подальшого розвитку.

Список використаних джерел:

1. Valetskyi, B., Zaleta, O., Povstianoi, O., Redko, R., Zaleta, A. (2026). Automation of Warehouse Parameters Calculation and Its Sketch Design. In: Tonkonogyi, V., Ivanov, V., Luściński, S., Trojanowska, J., Oborskyi, G. (eds) Advanced Manufacturing Processes VII. Interpartner 2025. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham, P 74-86. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-032-14926-8_7

2. Оптимізація характеристик автоматизованого керування процесом великогабаритного пакування / Б.П. Валецький, Т.І. Четвержук, Ю.В. Федорусь, С.П. Шимчук // Міжвузівський збірник «НАУКОВІ НОТАТКИ». Луцьк, 2025, №81 с.87-91

3. Валецький Б.П. Механотроніка складу / Б.П. Валецький // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник. – Випуск 66 . – Луцьк, 2019. – С.46-52. / URL: https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/naukovi_notatky/issue/view/37/43

МЕХАТРОННИЙ МОДУЛЬ МІКРОПЕРЕМІЩЕНЬ ДВОКООРДИНАТНОГО СТОЛИКА НА БАЗІ БІМОРФНИХ П'ЄЗОАКТЮАТОРІВ

Сучасний розвиток мікро- та наносистемної техніки, роботизованих комплексів і систем технічного зору супроводжується зростанням потреби у високоточних мехатронних модулях позиціонування. Особливе значення такі системи мають у біомедичних дослідженнях, мікроелектроніці, оптичних комплексах та роботизованих мікроманіпуляторах, де необхідно забезпечувати прецизійні мікропереміщення з високою швидкістю та стабільністю [1].

У роботі розглянуто конструкцію та принцип функціонування двокоординатного мікропозиціонуючого столика мікроскопа, побудованого на основі біморфних п'єзоелектричних актюаторів. Запропонований мехатронний модуль поєднує систему грубого позиціонування на базі крокових двигунів та модуль точних мікропереміщень, що дозволяє реалізувати широкий діапазон переміщень – від десятків міліметрів до субмікрометрових значень. Основними виконавчими елементами системи є чотири біморфні п'єзоактюатори, які забезпечують переміщення платформи по координатах X та Y. На відміну від багатошарових п'єзокерамічних перетворювачів, біморфні актюатори дозволяють отримати більший хід вільного кінця при компактних габаритах конструкції та високій жорсткості системи. Для стабілізації роботи платформи використано пружне кільце з берилієвої бронзи та систему кулькових опор, що забезпечують плавність і плоскопаралельність руху [2, 3].

Особливу увагу приділено побудові системи зворотного зв'язку. Для контролю положення столика використано три високоточні ємнісні датчики AD7746, які забезпечують вимірювання мікропереміщень із нанометровою роздільною здатністю. Застосування трьох датчиків дозволяє не лише визначати координати переміщення, але й оцінювати кутові відхилення робочої платформи, що є критично важливим для забезпечення точності мехатронного комплексу [4].

У роботі запропоновано алгоритм керування, який реалізує компенсацію паразитних переміщень та кутових відхилень шляхом автоматичної корекції напруги на п'єзоактюаторах. Система керування побудована на базі контролера dSPACE DS1104 та високовольтних підсилювачів TREK. Завдяки замкненому контуру керування забезпечується висока точність позиціонування, швидкодія та стабільність роботи мехатронного модуля.

Результати моделювання та експериментальних досліджень підтвердили можливість реалізації переміщень у діапазоні до $\pm 0,5$ мм із точністю близько 0,5 мкм. Встановлено, що застосування ємнісних датчиків та адаптивних алгоритмів керування дозволяє ефективно компенсувати нелінійності п'єзоелектричних приводів і мінімізувати похибки позиціонування.

Запропонований мехатронний модуль може бути використаний у роботизованих системах мікроманіпулювання, автоматизованих оптичних комплексах, медичних діагностичних установах, системах технічного зору та мікромеханічних технологіях, де необхідні високоточні мікропереміщення і стабільне керування положенням об'єктів.

Список використаних джерел:

1. Хорольський В. П., Коренець Ю. М. Мехатроніка (мехатроніка та інтелектуальна автоматика): навч. посіб. Кривий Ріг: ДонНУЕТ, 2023. 342с.
2. Денисюк В. Ю., Кравчук О. О. Система керування точністю мікропереміщень предметного столика мікроскопа. *Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології – 2025*: матер. XI Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, 07 трав. 2025 р.). Київ: «Політехніка», 2025. С. 16-17.
3. Денисюк В. Ю., Симонюк В. П., Лапченко Ю. С., Шибковський І. А. Метрологічне забезпечення вимірювання механічних та трибологічних властивостей матеріалів на субмікронному і нанометровому діапазонах лінійних розмірів. *«Перспективні технології та прилади»*: зб. статей. Луцьк: ЛНТУ, 2020. Вип. 17. С. 33-41.
4. Денисюк В. Ю., Симонюк В. П., Лапченко Ю. С. Дослідження точності мікропереміщень предметного столика мікроскопа з біморфними п'єзоактюаторами. *Технічна творчість*: зб. наук. праць. Хмельницький: ХНУ, 2021. № 4. С. 10-11.

УДК 621.865.8

В. А. Кирилович, докт. техн. наук, професор**О. В. Підтиченко**, канд. техн. наук, доцент**В. А. Яновський**, доцент*Державний університет "Житомирська політехіка"*

НЕЧІТКИЙ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИЙ ВИБІР АЛЬТЕРНАТИВ В ІТ СФЕРІ: СЕРЕДИННИЙ ВИПАДОК

В сучасних різногалузевих технологічних структурах, включаючи технологічні комплекси (ТК), та в організаціях ІТ сфери, що займаються проєктуванням програмних продуктів (ПП), досить розповсюдженими є певна множина прикладних задач, які можуть бути віднесені до задач нечіткого багатокритеріального вибору альтернатив (НБВА) та розв'язані відповідними методиками. Прикладом таких задач є задачі, які розв'язуються при тестуванні ПП. Актуальність розв'язування подібних задач визначається перш за все тривалістю процесу тестування ПП, що може досягати до 35% життєвого циклу ПП. Окремим при цьому є питання використання штучного інтелекту, що тут не розглядається.

Загалом особливостями змісту задач НБВА є наступне: апіорі та апостеріорі рішення задачі не є відомим; різною є природа та походження дискретних локальних критеріїв; різними є шкали вимірювань кожного локального критерія вибору тощо. Це робить такі задачі нетривіальними при їх розв'язуванні.

В основу розробленої методики покладено розрахунок співвідношень з відповідними так званими серединними параметрами щодо кожного локального критерія вибору. Задачі даного змісту розв'язуються з використанням експертних процедур шляхом попередньо проведеного строгого експертного ранжування локальних критеріїв вибору.

Для прикладу обрано медіанний та середньоарифметичний серединні параметри. В якості локальних критеріїв вибору із їх дискретної множини (ДМЛК) вибрані наступні: користувацький інтерфейс (Ui); досвід користувача (Ux), захищеність (Se); сумісність (Cr); наявність локалізації (Lo); продуктивність (Pr); конфігуративність (Cf); стабільність (Sb); мобільність (Mb). Задача має розмір $[n \times m] = 18 \times 9$, де n – кількість експертів, m – кількість локальних критеріїв.

Сутність процесу вибору полягає в упорядкуванні критеріїв вибору, що значно зменшує час на їх реалізацію при проведенні реальних процедур тестування ПП.

Розроблені методики MMS (Middle Method Solution), що враховують вказані серединні параметри, реалізуються методично обумовленою послідовністю семи кроків К. Наприклад, на К1 формується матриця строгого експертного ранжування локальних критеріїв вибору. На К2 розраховуються елементи матриці ваг кожного локального критерія із ДМЛК. На кроках К3-К5 розраховуються відповідні нечіткі оцінки для кожного локального критерія з врахуванням процедур порівнянь з використанням медіанного та середньоквадратичного серединних параметрів. Змістом кроку К6 є формування матриці отримання нечітких множин-рішень. Це множина, елементи якої упорядковані за індексами локальних критеріїв. На кроці К7 нечіткі оцінки, отримані на К6, ранжуються (упорядковуються) від найбільшого до найменшого, кожному з яких відповідає певний локальний критерій вибору. Відповідні їм найменування локальних критеріїв і визначають упорядкованість цих критеріїв, що і є розв'язком даної задачі. Вказане виконується для обраних, як вказано раніше, медіанних та середньоквадратичних попередньо розрахованих серединних параметрів.

Результати проілюстровані графічно відповідними стовпцевими діаграмами та їх аналізом.

Інваріантність методик MMS перевірена їх працездатністю при нечіткому виборі роботизованих механоскладальних технологій (РМСТ).

Отримані результати підтвердили працездатність розроблених методик та показали хорошу узгодженість отриманих рішень за коефіцієнтом кореляції Спірмена, що справедливо як для задач нечіткого вибору при тестуванні ПП (ІТ сфера), так і для нечіткого вибору РМСТ.

УДК 681.5:004.89:62-52

А.-В. В. Мідик, канд. техн. наук*Львівський державний університет внутрішніх справ***О. В. Лиса**, канд. техн. наук, доцент*Львівський національний університет Ветеринарної
Медицини та Біотехнологій імені С.З. Гжицького*

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ РОБОТИЗОВАНІ КОМПЛЕКСИ З ПІДТРИМКОЮ OSINT-ДАНИХ

Роботизовані комплекси Industry 4.0 – це багаторівневі системи автоматичного керування, у яких поєднуються роботизовані маніпулятори, сенсорні мережі, PLC-контролери, SCADA/HMI-системи та інтелектуальні аналітичні модулі. Системи керування таких комплексів функціонують на основі внутрішніх технологічних даних, отриманих із давачів положення, вібрації, температури, струму приводів та систем технічного зору. Однак у сучасних умовах зростає необхідність у використанні зовнішніх інформаційних джерел для підвищення адаптивності роботизованих систем. Одним із перспективних напрямів є інтеграція OSINT-даних у контури автоматичного керування роботизованими комплексами. Використання відкритих джерел інформації дозволяє враховувати зовнішні фактори, глобальні статистики відмов обладнання, технічні бюлетені виробників та експлуатаційний досвід аналогічних систем.

Інтелектуальний роботизований комплекс розглядається як багатоконтурна САУ, що включає первинні давачі, контури регулювання, PLC-контролери, виконавчі механізми, систему верхнього рівня SCADA/MES, OSINT-аналітичний модуль. На нижньому рівні функціонують давачі положення, енкодери, давачі струму, температури та вібрації, які формують потік технологічної інформації в режимі реального часу. Дані надходять до PLC-контролера, де реалізуються алгоритми позиційного, швидкісного та адаптивного керування. Виконавчий рівень включає сервоприводи, частотні перетворювачі, роботизовані маніпулятори, пневматичні та електромеханічні виконавчі механізми. OSINT-модуль підключається до верхнього рівня системи керування та забезпечує надходження зовнішніх інформаційних потоків. У САУ-центричному підході OSINT розглядається як додатковий

інформаційний контур, що впливає на параметри регуляторів і режими роботи роботизованого комплексу.

У роботизованих маніпуляторах контур позиціонування базується на сигналах енкoderів та сервоприводів. OSINT-дані можуть використовуватись для аналізу типових помилок позиціонування; виявлення деградації редукторів; корекції параметрів PID-регуляторів. Наприклад, аналіз відкритих баз відмов може показати, що конкретний тип сервопривода після певного ресурсу роботи демонструє збільшення люфту. Система автоматично змінює параметри регулювання для компенсації похибки. Давачі вібрації контролюють стан приводів і механічних вузлів роботизованого комплексу. PLC здійснює порівняння поточних параметрів із допустимими значеннями. OSINT-аналітика дозволяє порівнювати локальні спектри вібрацій із глобальними базами; прогнозувати знос підшипників; виявляти приховані дефекти механічних вузлів. Формується прогноз технічного стану обладнання та сигнал про необхідність технічного обслуговування. Роботизовані комплекси активно використовують системи комп'ютерного зору для контролю якості, позиціонування об'єктів та навігації. Інтеграція OSINT дозволяє використовувати відкриті датасети дефектів продукції; оновлювати ML-моделі розпізнавання; адаптувати алгоритми класифікації об'єктів. Система технічного зору стає здатною до самонавчання. OSINT-орієнтовані роботизовані комплекси забезпечують перехід до самодіагностичних та адаптивних систем.

Список використаних джерел:

1. Jain A., Sangaiah A. K., Sakhuja S. Intelligent Techniques for Predictive Maintenance in Industry 4.0 // Journal of Intelligent Manufacturing. – 2020. – Vol. 31. – P. 1–15.

**Секція 5. ФУНКЦІОНАЛЬНІ ЕЛЕМЕНТИ
СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ
КОМПЛЕКСІВ**

**Section 5. FUNCTIONAL ELEMENTS OF
MODERN TECHNOLOGICAL COMPLEXES**

УДК 623.746.1:623.64:621.391.31

О. М. Решетило, канд. техн. наук, доцент

В. О. Сацик, канд. с-г. наук, доцент

Луцький національний технічний університет

МЕТОДИ БОРОТЬБИ З БЕЗПІЛОТНИМИ ЛІТАЛЬНИМИ АПАРАТАМИ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬ ОПТОВОЛОКОННИЙ КАНАЛ КЕРУВАННЯ

Стрімкий розвиток безпілотних літальних апаратів (БПЛА) змінив характер сучасних військових операцій та підходи до забезпечення безпеки об'єктів критичної інфраструктури. Тому виникає потреба у розробленні та впровадженні нових підходів до виявлення, супроводу та знешкодження таких БПЛА, що повинні базуватися на комплексному поєднанні технічних, інженерних та організаційних рішень.

У праці [1] здійснено огляд сучасних систем протидії БПЛА, де визначено основні напрями розвитку засобів виявлення, супроводу та нейтралізації БПЛА. У праці [2] розглянуто технічні рішення переходу від традиційного радіокерування до волоконно-оптичних каналів передачі команд. У праці [3] оптоволоконний канал розглядається як перспективний спосіб захищеного керування групами БПЛА. В роботі [4] проаналізовано досвід використання БПЛА з оптоволоконним каналом керування, запропоновано нетрадиційні методи протидії таким загрозам, серед яких інженерні бар'єри, засоби фізичного враження та використання перехоплювачів. У роботі [5] запропоновано концепцію комбінованого керування БПЛА в умовах застосування засобів радіоелектронної боротьби. Дослідження українських науковців присвячені оцінці впливу лазерної зброї на композитні матеріали корпусів БПЛА [6].

Метою роботи є аналіз сучасних загроз, що пов'язані із застосуванням БПЛА з оптоволоконним каналом керування, а також дослідження та систематизація методів боротьби з ними.

Подальший розвиток технологій боротьби з БПЛА з оптоволоконним каналом керування пов'язаний із:

- створенням багаторівневих систем виявлення;
- інтеграцією машинного навчання у системи управління;
- застосуванням роботизованих комплексів;
- автоматизацією процесів прийняття рішень у режимі

реального часу.

Перспективи подальших досліджень будуть спрямовані на розроблення нових спеціалізованих антидронових систем захисту, удосконалення алгоритмів автоматичного розпізнавання цілей, створення мобільних комплексів протидії та розробку нових конструкцій дронів-перехоплювачів та спеціальних технічних пристроїв для FPV-дронів.

Список використаних джерел:

1. Counter-Unmanned Aircraft Systems (C-UAS): State of the Art, Challenges, and Future Trends // *arXiv*. 2020. URL: <https://surli.cc/azyzum> (дата звернення: 14.05.2026).
2. Research on Fiber-Optic Communication Systems for Unmanned Aerial Vehicles // *Journal of Military Science and Technology*. 2024. URL: <https://surli.li/pvhebq> (дата звернення: 14.05.2026).
3. Fiber-Optic Communication Architecture for Cooperative UAV Systems // *International Journal of Information Technology*. 2025. URL: <https://surli.li/mvinzk> (дата звернення: 14.05.2026).
4. Counteracting Fiber-Optic FPV Drones in Modern Warfare: Challenges and Solutions // *Advanced Military Technology*. 2025. URL: <https://surli.lu/krodte> (дата звернення: 14.05.2026).
5. Combined Control of Unmanned Aerial Vehicles under Active Electronic Warfare Conditions // *Computer Systems and Networks*. 2025. Vol. 7, No. 2. URL: <https://surli.li/wzycio> (дата звернення: 14.05.2026).
6. Analysis of Laser Weapon Effectiveness against UAV Composite Materials // *DOAJ*. 2024. URL: <https://surli.li/xquvux> (дата звернення: 14.05.2026).

ДЛЯ НОТАТОК

Міністерство освіти і науки України
Луцький національний технічний університет

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

IX Міжнародної науково-технічної конференції
з проблем вищої освіти і науки

**ТК-2026 «ПРОГРЕСИВНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ
АВТОМАТИЗОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ»**

Луцьк, УКРАЇНА
28-30 травня 2026 року

COLLECTION OF SCIENTIFIC REPORTS

of IX -th International scientific and technical conference devoted to problems
of higher education and science

**TK-2026 «PROGRESSIVE DIRECTIONS OF TECHNOLOGICAL
COMPLEXES DEVELOPMENT»**

Lutsk, UKRAINE
May 28-30, 2026

Комп'ютерний набір та верстка:

Денисюк В.Ю.

