

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет радіоелектроніки

Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки

**VII Міжнародна Конференція  
ВИРОБНИЦТВО  
&  
МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ 2023**



**VII International Conference  
MANUFACTURING  
&  
MECHATRONIC SYSTEMS 2023**

**M&MS**

**2023**

**VII International Conference**

**19-20 October**

**Kharkiv**

**УДК: 005:004.896:62-65:338.3**

Виробництво & Мехатронні Системи 2023: матеріали VII-ої Міжнародної конференції, Харків, 19-20 жовтня 2023 р.: тези доповідей / [редкол. І.Ш. Невлюдов (відповідальний редактор)].-Харків: [електронний друк], 2023. – 163 с.

У збірник включені тези доповідей, які присвячені сучасним тенденціям розвитку технологій та засобів виробництва та мехатронних систем, передовому досвіду та впровадженню їх в галузях систем промислової автоматизації та керування виробництвом; системній інженерії; CAD/CAM/CAE системах; мехатроніці (електро-механічних системах, електронних інструментах систем керування, механічних САD системах); робототехніці та засобах інтелектуалізації; MEMS (сучасних матеріалів та технологіях виготовлення MEMS) та компонентах і технологіях автоматизації видобутку, переробки та транспортування нафти та газу.

Редакційна колегія: І.Ш. Невлюдов, В.В. Євсєєв.

Manufacturing & Mechatronic Systems 2023: Proceedings of VII st International Conference, Kharkiv, October 19-20, 2023: Theses of Reports / [Ed. I.Sh. Nevlyudov (chief editor).] .- Kharkiv .: [electronic version], 2023. - 163 p.

The collection includes the theses of reports on modern trends in the development of technologies and means of production and mechatronic systems, top experience and implementation of them in fields of: industrial automation and production management systems; systems engineering; CAD/CAM/CAE systems; mechatronics (electrical and mechanical systems, electronic control tools, mechanical CAD systems); robotics and intellectual tools; MEMS (modern materials and manufacturing technologies MEMS) and components and technologies for the automation of oil, gas and oil extraction, processing and transportation.

Editorial board: Igor.Sh. Nevlyudov, Vladyslav.V. Yevsieiev

© Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (КІТАР), ХНУРЕ,2023

**Міністерство освіти і науки України (МОНУ)**  
**Харківський національний університет радіоелектроніки (ХНУРЕ)**  
**Варшавський університет сільського господарства (WULS - SGGW)**  
**Азербайджанський державний університет нафти і промисловості**  
**Національний університет «Львівська політехніка»**  
**Festo Didactic Україна**  
**Jabil Circuit Ukraine Limited**  
**ТОВ «Науково-виробниче підприємство «УКРІНТЕХ»»**  
**Факультет автоматики і комп'ютеризованих технологій (АКТ)**  
**Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (КІТАР),**  
**Державне підприємство «Харківський науково-дослідний інститут технології**  
**машинобудування»**  
**Державне підприємство «Південний державний проектно-конструкторський та**  
**науково-дослідний інститут авіаційної промисловості»**

## **МАТЕРІАЛИ**

**VII-ої Міжнародної Конференції**

## **ВИРОБНИЦТВО & МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ 2022**

**(19-20 жовтня 2023)**  
**Харків, Україна**

## ОРГАНІЗАТОРИ



Міністерство  
освіти і науки  
України

Міністерство освіти і науки України (МОНУ)  
The Ministry of Education and Science of Ukraine



**NURE**  
Kharkiv National University  
of Radioelectronics

Харківський національний університет  
радіоелектроніки (ХНУРЕ)

Kharkiv National University of Radioelectronics



**WARSAW UNIVERSITY  
OF LIFE SCIENCES  
- SGGW**

Варшавський університет сільського  
господарства (WULS - SGGW)

Warsaw University of Life Sciences WULS - SGGW



Азербайджанський державний університет  
нафти і промисловості

Azerbaijan State Oil and Industry University



Festo Didactic Україна

Festo Didactic Ukraine



ТОВ «Науково-виробниче підприємство  
«УКРІНТЕХ»»

Research and Production Enterprise  
"UKRINTECH" Ltd



Національний університет «Львівська  
політехніка»

National University Lviv Polytechnic

Державне підприємство «Харківський науково-  
дослідний інститут технології машинобудуван-  
ня», м. Харків, Україна

State Enterprise «Kharkiv Scientific-Research  
Institute of Mechanical Engineering Technology»,  
Kharkiv, Ukraine



Державне підприємство «Південний державний  
проектно-конструкторський та науково-  
дослідний інститут авіаційної промисловості»,  
м. Харків, Україна

State Enterprise «National Design & Research  
Institute of Aerospace Industries», Kharkiv,  
Ukraine



Jabil Circuit Ukraine Limited

# КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

## МІЖНАРОДНИЙ ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

- Ігор Шакирович Невлюдов** голова комітету конференції, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (КІТАР), Харківського національного університету радіоелектроніки, Україна
- Олександр Іванович Филипенко** заступник голови комітету конференції, доктор технічних наук, професор, декан факультету Автоматики і комп'ютеризованих технологій (АКТ), Харківського національного університету радіоелектроніки, Україна.
- Мурад Анвер огли Омаров** доктор технічних наук, професор, проректор з міжнародного співробітництва, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна
- Владислав В'ячеславович Євсєєв** секретар, доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (КІТАР), Харківського національного університету радіоелектроніки, Україна.
- Andrzej Chochowski** доктор технічних наук, професор Варшавського університету сільського господарства (WULS - SGGW), Польща
- Pawel Obstawski** доктор технічних наук, професор Варшавського університету сільського господарства (WULS - SGGW), Польща.
- Сергій Богомолів** лектор/доцент, доктор філософії (комп'ютерні науки), Дослідницька школа комп'ютерних наук, Коледж інженерії та комп'ютерних наук, Австралійський національний університет, Австралія.
- Микола Васильович Замірець** доктор технічних наук, професор, директор Державного підприємства Науково-дослідного технологічного інституту приладобудування, Україна
- Михайло Васильович Лобур** доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри систем автоматизованого проектування Національного університету «Львівська політехніка», Україна.
- Євген Сергійович Риженко** керівник відділу дидактики ДП «Фесто», Україна
- Сергій Володимирович Демченко** директор ТОВ «Науково-виробничого підприємства «УКРІНТЕХ»», Україна.

- Самед Імамалі огли Юсіфов** кандидат технічних наук, доцент, декан факультету інформаційних технологій та управління, Азербайджанський державний університет нафти і промисловості, Азербайджан.
- Фарід Гаджі огли Агасв** кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри управління та системної інженерії, Азербайджанський державний університет нафти і промисловості, Азербайджан.
- Віктор Васильович Косенко** доктор технічних наук, доцент, директор Державного підприємства «Харківського науково-дослідного інституту технології машинобудування», Україна.
- Володимир Вікторович Козирський** доктор технічних наук, професор, директор Навчально-наукового інституту енергетики, автоматики та енергозбереження, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.
- Віталій Пилипович Лисенко** доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматики та робототехнічних систем ім. акад. І.І. Мартиненка, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.
- Юрій Францевич Зіньковський** доктор технічних наук, професор кафедри радіоконструювання і виробництва радіоапаратури, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна.
- Володимир Митрофанович Свищ** доктор технічних наук, професор, радник директора Державного науково-виробничого підприємства «Об'єднання Комунар», Україна.
- Віталій Євгенович Овчаренко** доктор технічних наук, професор, заступник директора з наукової роботи Державного підприємства «Науково-дослідний технологічний інститут приладобудування», Україна.
- Лариса Сергіївна Глоба** доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційно-комунікаційних мереж, Інститут телекомунікаційних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна.
- Анатолій Олександрович Андрусевич** доктор технічних наук, професор, начальник Криворізького коледжу Національного авіаційного університету, Україна.
- Роман Володимирович Артюх** кандидат технічних наук, директор Державного підприємства «Південний державний проектно-конструкторський інститут авіаційної промисловості», Україна.

- Glen Kurtwitz** генеральний менеджер Titan Machinery Limited, Шотландія.
- Liu Shan** генеральний менеджер Titan Machinery Limited, Китай.
- Володимир Андрійович Павлиш** кандидат технічних наук, професор, перший проректор Національного університету «Львівська політехніка», Україна
- Сергій Іванович Осадчий** доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизації виробничих процесів, Центральноукраїнський національний технічний університет, м.Кропивницький, Україна.
- Анатолій Афанасійович Єфіменко** доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри електронних засобів та інформаційно-комп'ютерних технологій, Одеський національний політехнічний університет, Україна
- Анатолій Петрович Ладанюк** доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизації та інтелектуальних систем, Національний університет харчових технологій, Україна.
- Володимир Михайлович Решетюк** кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматики та робототехнічних систем ім. акад. І.І. Мартиненка, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

## ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

- Олександр Михайлович Цимбал** заступник голови конференції з організаційних питань, доктор технічних наук, професор комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (KITAP), Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна.
- Сергій Павлович Новоселов** кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (KITAP), Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна.
- Євген Анатолійович Разумов-Фризюк** кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (KITAP), Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна.
- Наталія Павлівна Демська** кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (KITAP), Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна.

## ЗМІСТ

*Vladyslav Yevsieiev*

Modeling of the BEAM robot control system on the basis of a microcircuit L293D ..... 12

*Medovkin Mykhailo, Puhach Hanna*

The development of a cryptographically secure pseudorandom number generator ..... 15

*Svetlana Sotnik, Anton Andreiev*

QR codes in production ..... 19

*Софія Хрустальова, Світлана Вишванюк*

Розроблення структурної схеми модуля автоматизації на базі RFID – технологій ..... 22

*Владислав Заїкін*

Моделювання пошуку вибухонебезпечних предметів методом електромагнітної спектроскопії та радіолокації ..... 26

*Karetyna Stetsenko*

BEAM Robotics: Combining Biological Principles and Technological Solutions for More Adaptive and Energy-Efficient Robots ..... 30

*Svitlana Maksymova, Mykhailo Akopov*

Selection of Sensors for Building a 3D Model of the Mobile Robot's Environment ..... 33

*Сергій Новоселов, Єгор Волков*

Завдання автоматичного керування рухом мобільної платформи з застосуванням законів автоматички ..... 36

*Сергій Новоселов, Ігор Гладков*

Сучасний промисловий інтернет речей та хмарні технології ..... 40

*Дмитро Гурін*

Вирішення задачі зворотної кінематики для рухливих кінцівок роботехнічної платформи ..... 43



<i>Максим Лузан, Дмитро Янушкевич</i>	
Аналіз методів дистанційного знешкодження .....	46
<i>Михайло Ковальов, Іванов Леонід</i>	
Способи удосконалення частотного перетворювача напруги для блоку управління електричним транспортним засобом .....	49
<i>Світлана Максимова, Георгій Борисов</i>	
Розробка програми для пошуку й побудови оптимального маршруту мобільного робота у двовимірному просторі .....	52
<i>Світлана Максимова, Канаєв Владислав</i>	
Розробка підсистеми керування мобільного роботу для орієнтації в виробничому просторі .....	54
<i>Олена Чала, Анатолій Сливка</i>	
Рівні Засобів ПоТ в Інформаційних Технологіях .....	57
<i>Чала О., Дон Д.</i>	
Розроблення елементів обліку обладнання інформаційних ERP-систем	61
<i>Бронніков А.І., Чернишов Д.І.</i>	
Модернізація модуля керування розсувними конструкціями виробничого приміщення з використанням ІоТ .....	65
<i>Бронніков А.І., Ницета В.Є.</i>	
Розроблення системи інтелектуального керування кондиціонуванням виробничого приміщення з використанням технології ІоТ .....	68
<i>Запорізький Валентин, Плахтій Олександр</i>	
Аналіз поточного стану розвитку колаборативних роботів .....	71
<i>Олег Гуртовий</i>	
Використання автоматизованого випробувального обладнання в системі контролю якості продукції радіоелектронної промисловості ....	74
<i>Дмитро Лобанов, Леонід Іванов</i>	
Способи удосконалення модуля автоматичного управління перетворювача напруги блоку живлення електророботикара .....	78

*Ілля Лисенко, Леонід Іванов*

Необхідність охолодження акумуляторних батарей автономного ходу електричного транспорту на прикладі тролейбуса PTS-12 ..... 81

*Редько Денис, Дмитро Янушкевич*

Аналіз конструкції маніпуляторів роботехнічних пристроїв для переміщення вибухонебезпечних предметів ..... 84

*Дмитро Янушкевич, Леонід Іванов, Ігор Толкунов*

Комплексний підхід до застосування робототехнічних комплексів у сфері гуманітарного розмінування ..... 88

*Viacheslav Korotkov, Igor Nevliudov, Yurii Romashov*

General Approaches to Design Improved Angular Velocity PID Controllers of Automated Electrical Drives ..... 93

*Oleksandr Narozhnyi, Yurii Romashov*

Technical State Estimation for Electromechanical Wheeled Platforms with Parametric Identification Using ..... 99

*Наталія Демська, Юрій Ромашов, Артем Шевченко*

Розробка підходів щодо використання комп'ютерних технологій для імітаційного моделювання промислового електроприводу ..... 104

*І. В. Жарікова*

Автоматичний пристрій для збору вторинної тари з алюмінію та поліетилентерефталату ..... 110

*Доронін Павло, Леонід Іванов*

Контроль укладання акумуляторних батарей автономного ходу для електричного транспорту (за зразком тролейбуса PTS-12) ..... 113

*Фарзуллаєв Рашад, Леонід Іванов*

Необхідність контролю вихідного сигналу з бортового перетворювача напруги для електротранспорту ..... 116

*Сергій Новоселов, Дмитро Шестак*

Класифікація вибухонебезпечних об'єктів, їх візуальні ознаки, методи маскуванню та ідентифікації ..... 119

<i>Кузьменко Олександр</i>	
Аналіз засобів дистанційного виявлення мінно-вибухових пристроїв ...	124
<i>Дмитро Кухаренко, Богдан Коваленко</i>	
Метод ранньої діагностики ниркових захворювань .....	128
<i>Олексій Юрко, Дмитро Кухаренко, Михайло Довбня, Микола Мешков</i>	
Програмна реалізація системи керування лабораторним блоком живлення .....	133
<i>Дмитро Кухаренко, Роман Косюта</i>	
Моделювання процесу розмінування українських територій за допомогою роботизованих комплексів .....	138
<i>Дмитро Кухаренко, Іван Лукеча</i>	
Моделювання артеріального тромбозу в серцево-судинній системі .....	142
<i>Дмитро Кухаренко, Владислав Нікітюк</i>	
Розробка моделей та методів комп'ютерного планування оперативних втручань на ШКТ .....	146
<i>Дмитро Проценко</i>	
Особливості розробки автономного малогабаритного робота .....	150
<i>Igor Nevliudov, Oleksandr Ratushnyi, Yurii Romashov</i>	
Development of General Approaches for Mathematical Modelling of Heat Exchangers as Automation Objects .....	153
<i>Олександр Малий, Наталія Фурманова, Вадим Онищенко, Сергій Малий</i>	
Методологічні засади вибору компонентів рушійної установки мультиторних БПЛА .....	158

- when there was a white field under the left and right sensors, both motors turned on and the robot moved forward.

- if one of the sensors fell on the black line passing between them, then the corresponding motor stopped and the robot turned, aligning its position above the line.

Such a robot can follow a line very confidently if it does not have sharp turns. If the speed of the robot is high and the turn is sharp, then the probability of such a robot leaving the line becomes quite large.

The operating principle of the circuit is based on inverting the signal coming from the phototransistor. When the sensor is illuminated (located above the white field), the phototransistor will open and a high level signal (logical "1") will appear at the INPUT1 input of the L293D motor driver. Motor M1 will rotate as shown in Figure 1. In addition, the signal from the phototransistor will be applied to the input of the "NOT" element, which will turn a logical "1" into a logical "0" and apply it to the INPUT4 input. The M2 motor will remain standing.

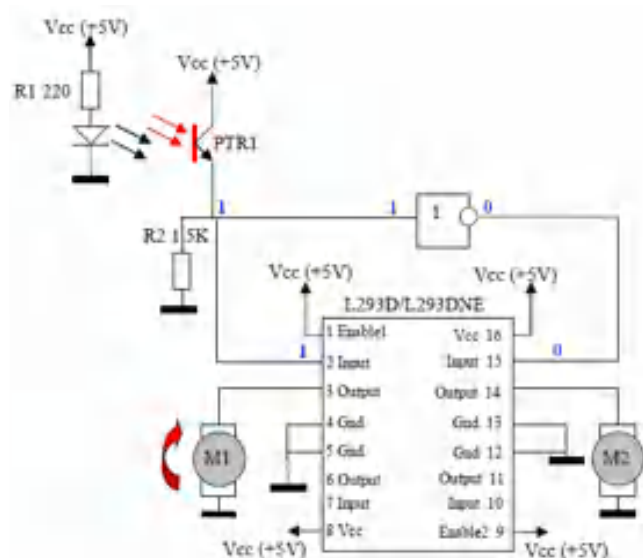


Figure 2 – Electrical circuit diagram

When the robot turns and the sensor is above the white field, the phototransistor will close and a low-level signal (logical "0") will appear at the INPUT1 input. Motor M1 will stop. Logical "0" is inverted by the "NOT" element, and a logical "1" appears at the INPUT4 input, motor M2 begins to rotate [12-14].

Alternating state 1 and state 2 will ensure the robot follows the boundary of white and black. To model the robot's BEAM control circuit, we'll use Autodesk Tinkercad, a powerful and easy-to-use online 3D modeling and design application designed for beginners and experienced designers [15]. Using the built-in library, we will assemble a modeling scheme as shown in Figure 3.

By running the simulation process in the Autodesk Tinkercad environment for the simulation scheme presented in Figure 3, we get the following result: DC motor M1 rotates at a speed of 170RPM, and DC motor M2 shows beating (4 RPM). Based on the positive modeling data obtained, it is proposed to modernize the scheme presented in Figure 2 and make a BEAM robot that implements the

phototaxis reaction (directed movement towards or away from light). The operating algorithm of such a robot is constructed as follows. When light hits one of the photosensors of such a robot, the corresponding electric motor turns on and the robot turns towards the light until the light illuminates both photosensors and the second motor turns on. When both sensors are illuminated, the robot moves towards the light source. If one of the sensors stops being illuminated, the robot turns again towards the light source and, having reached a position where the light falls on both sensors, continues its movement towards the light. If the light stops falling on the photosensors, the robot stops.

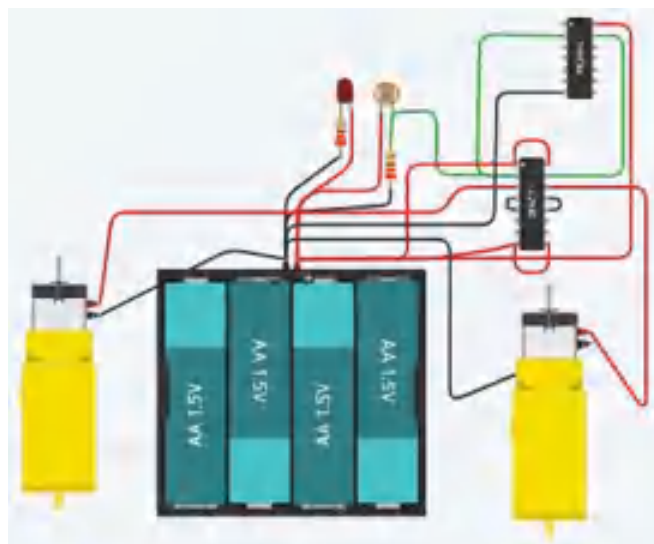


Figure 3 – Modeling scheme in the Autodesk Tinkercad environment

The robot's circuit is symmetrical and consists of two parts, each of which controls a corresponding electric motor. In fact, it is like a doubled circuit of the previous robot. Photosensors should be placed crosswise in relation to the electric motors as shown in the robot picture above. You can also arrange the motors crosswise relative to the photosensors as shown in the diagram shown in Figure 4.

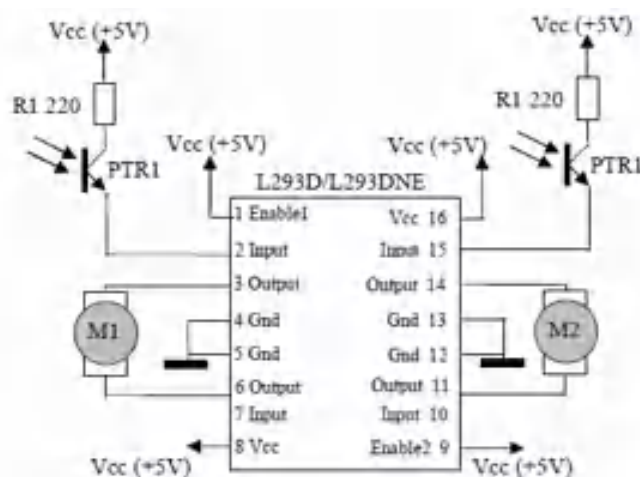


Figure 4 – Schematic diagram of a BEAM robot that implements the phototaxis reaction

You can make the robot's behavior more lively by applying a positive signal to the INPUT2 and INPUT3 inputs (connect them to the positive of the power source): the robot will move in the absence of light falling on the photosensors, and when it "sees" the light, it will turn towards its source. When light hits both sensors, the robot will stop.

### III. CONCLUSIONS

BEAM robots are known for their simplicity and reliability. Using a limited number of components and uncomplicated circuitry, they can be stable and durable in a variety of environments, typically consuming less power than more complex robots. This makes them suitable for autonomous robots powered by batteries or solar cells.

### REFERENCES

- [1] Boya-Lara, C., Saavedra, D., Fehrenbach, A. et al. Development of a course based on BEAM robots to enhance STEM learning in electrical, electronic, and mechanical domains. *Int J Educ Technol High Educ* 19, 7 (2022). <https://doi.org/10.1186/s41239-021-00311-9>.
- [2] Cox, A. M. (2021). Exploring the impact of artificial intelligence and robots on higher education through literature-based design fictions. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 18(1), 1–19. <https://doi.org/10.1186/s41239-020-00237-8>.
- [3] Attar, H., & et al.. (2022). Zoomorphic Mobile Robot Development for Vertical Movement Based on the Geometrical Family Caterpillar. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022, Article ID 3046116, <https://doi.org/10.1155/2022/3046116>.
- [4] Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Maksymova, S., Demska, N., Kolesnyk, K., & Miliutina, O. (2022, September). Object Recognition for a Humanoid Robot Based on a Microcontroller. In *2022 IEEE XVIII International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH)* PP. 61-64. DOI: 10.1109/MEMSTECH55132.2022.10002906
- [5] Невлюдов І. Ш., Андрусевич А. О., Євсєєв В. В., Новоселов С. П., Демська Н. П. Проектування мобільних маніпуляційних роботів: Монографія. – Х. :, 2022. – 427 с.
- [6] A Small-Scale Manipulation Robot a Laboratory Layout Development / Yevsieiev V., Starodubcev N., Maksymova S., Stetsenko K. // *International independent scientific journal*, №47, 2023. P.18-28
- [7] Yevsieiev, V. ., Maksymova, S. ., & Starodubcev, N. . (2022). A ROBOTIC PROSTHETIC A CONTROL SYSTEM AND A STRUCTURAL DIAGRAM DEVELOPMENT. *Collection of Scientific Papers «ΛΟΓΟΣ»*, (August 12, 2022; Zurich, Switzerland), 113–114. <https://doi.org/10.36074/logos-12.08.2022.33>
- [8] Attar, H., & et al.. (2022). Control System Development and Implementation of a CNC Laser Engraver for Environmental Use with Remote Imaging. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022, Article ID 9140156, <https://doi.org/10.1155/2022/9140156>.
- [9] Nevliudov, I., & et al.. (2020). Method of Algorithms for Cyber-Physical Production Systems Functioning Synthesis. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 8(10), 7465-7473
- [10] Nevliudov, I., & et al.. (2021). GUI Elements and Windows Form Formalization Parameters and Events Method to Automate the Process of Additive CyberDesign CPPS Development. *Advances in Dynamical Systems and Applications*, 16(2), 441-455.
- [11] Nevliudov, I., & et al.. (2021). Development of a cyber design modeling declarative Language for cyber physical production systems, *J. Math. Comput. Sci.*, 11(1), 520-542.
- [12] Розробка 3D-моделі зооморфного мобільного робота для вертикальних переміщень по металевим поверхням / І. Ш. Невлюдов, В. В. Євсєєв, Н. П. Демська, В. О. Руденко // *Наука і техніка сьогодні*. – 2022. – № 4(4). – С.163-174.
- [13] Nevliudov I. Modernization of the work control system by the PUMA-560 manipulator / I. Nevliudov, V. Yevsieiev, N.Demaska, Y. Valkivskyi // «Новітні технології»: журнал. № 2(12) 2021. – С. 7–15
- [14] Yevsieiev V. (2023) Development of a program for modeling the control of a mobile manipulation robot in the unity environment / Yevsieiev V., Starodubcev N. // *Scientific Collection «InterConf»*, (141), P. 331-334.
- [15] AutodeskTinkercad. Електронний ресурс]. – URL: <https://www.tinkercad.com/> (дата звернення 20.10.2023)
- [16] H Hariri, Y Bernard and A Razek. (2014). A traveling wave piezoelectric beam robot. *Smart Mater. Struct.* 23 025013. DOI 10.1088/0964-1726/23/2/025013
- [17] Carman Neustaedter, Gina Venolia, Jason Procyk, Daniel Hawkins.(2016). In *Proceedings of the 19th ACM Conference on Computer-Supported Cooperative Work & Social Computing* February 2016, Pages 418–431. <https://doi.org/10.1145/2818048.2819922>
- [18] Yevsieiev V. Some aspects of the development of the BEAM robot control scheme / V. Yevsieiev // *In IV International Scientific and Theoretical Conference, Singapore, Republic of Singapore*. - P. 79-81.

# The development of a cryptographically secure pseudorandom number generator

Medovkin Mykhailo<sup>1</sup>, Puhach Hanna<sup>2</sup>

1. Student, Municipal Institution "Kharkiv Lyceum № 126 Kharkiv City Council", UKRAINE,  
Kharkiv, Pidlisna str. 9., email: [kakaeta.poshta@gmail.com](mailto:kakaeta.poshta@gmail.com)

2. Informatics teacher, Municipal Institution "Kharkiv Lyceum № 126 Kharkiv City Council", UKRAINE,  
Kharkiv, Pidlisna str. 9., email: [informzosh126@gmail.com](mailto:informzosh126@gmail.com)

**Annotation:** This material provides an analysis of the insecurities of pseudorandom number generators. Goes into the inner workings of a developed cryptographically secure pseudorandom number generator, which utilizes multiple types of number generators for added security. As well as analyzes the statistical randomness of the algorithm.

**Keywords:** random number generators, statistically random numbers, predictability, security.

## I. INTRODUCTION

**Relevance:** Random number generation is required for the encryption of financial transactions, SMS messages, and personal data. Nonces, initialization vectors, and cryptographic keys must all be unique, hence the quality of a pseudorandom number generator used is of utmost importance. However, not all number generators are suitable for cryptographic purposes. Only a select group of cryptographically secure pseudorandom number generators are considered safe enough to use.

**Problem:** If observed independently most modern methods of generating cryptographically secure data are sufficient. However, only a few generators are cryptographically secure. Therefore, in systems where multiple instances of the same algorithm are used, if one is compromised, the entire system is.

**Goal:** To develop a cryptographically secure pseudorandom number generator that can generate random numbers using different methods, whilst making it impossible to distinguish between them.

**Hypothesis:** It is possible to use statistical pseudorandom number generators in cryptographic areas.

### Objectives:

- Examine the statistical pseudorandom number generators.
- Analyze the shortcomings of the algorithms.
- Create a cryptographically secure pseudorandom number generator.
- Analyze the algorithms' cryptographic security.
- Research methods: comparison, measurement, experiment, analysis, explanation.

## II. PSEUDORANDOM NUMBER GENERATION

Computers are deterministic machines, and as such are unable to produce true randomness. Pseudo-random number Generators (PRNGs) approximate randomness algorithmically, starting with a seed from which subsequent values are calculated. There are two types of PRNGs: statistical and cryptographic. Statistical PRNGs provide useful statistical properties, but their output is highly predictable and forms an easy-to-reproduce numeric stream that is unsuitable for use in cases where security depends on

generated values being unpredictable. Cryptographic PRNGs address this problem by generating output that is more difficult to predict [2].

The problems that come with the use of statistical PRNGs in the field of cryptography were discussed by Criss Anly in the speech "Telling the Time" [1]. In his speech, Cris Anley explores the use of random numbers generated using statistical PRNGs in web applications. Often the security of random data is overlooked, putting the entire system at risk. A good example is the `uniqid()` function from PHP. While it is safe to use this function in non-cryptographic fields, a developer may misuse it for session ID generation. The `uniqid()` function is not cryptographically secure and the output of the function is not unique. One of the reasons for that is the seed being taken from the current time in milliseconds, predetermining the output. Because it is possible for an outsider to get the time at which the numbers were generated without much effort, it would be possible to determine the output.

The scientific article "Notes on the Design and Analysis of the Yarrow Cryptographic Pseudorandom Number Generator" describes Yarrow, one of the most popular cryptographically secure PRNGs [4]. Using such algorithms complicates the process of predicting its pseudorandom outputs. The main reasons for this are the use of truly random data for seed initialization and the seed initialization happening recurrently. Entropy is usually collected from computer hardware, user activity, or special hardware random number generators (HRNG), which collect data from random physical phenomena, for example, background radiation.

It should also be noted that in some cases, where the speed of random number generation isn't of much importance, HRNG may be used to generate random numbers directly. While this approach is useful for research, in cryptographic applications the speed at which random numbers are generated must be much faster. Furthermore, if a HRNG breaks down it may start to produce numbers that aren't truly random, which is quite difficult to detect.

## III. THE MIDDLE-SQUARE METHOD

John von Neumann faced the problem of generating random numbers in 1949 while developing the ENIAC, the first programmable electronic digital computer. At that time all of the methods to get random numbers were quite time-consuming. Neumann developed an algorithm that was much faster at generating random numbers than any methods at the time. But unlike hardware random number generators, it cannot generate truly random numbers. The generated sequence is not random, as it is completely determined by an initial value called the seed. While being

outdated, many modern algorithms face the same problems as the middle-square method [9].

This algorithm is one of the simplest PRNGs. To generate a sequence of  $n$ -digit pseudorandom numbers, the  $n$ -digit seed is squared to produce a  $2n$ -digit number. If the result contains less than  $2n$  values, leading zeros are added to compensate. The middle digits of the generated number will be returned as the result. The subsequent number is generated using the result as a seed.

The middle-square method cannot run indefinitely, its period can be no longer than  $8^n$ . If the middle  $n$  digits are all zeroes, the generator then outputs zeroes forever. If the first half of a number in the sequence is zeroes, the subsequent numbers will decrease to zero. While these runs of zero are easy to detect, they occur too frequently for this method to be of practical use. The middle-squared method can also get caught in an endless loop on a number other than zero. For  $n = 4$ , this occurs with the values 0100, 2500, 3792, and 7600.

Such an algorithm cannot be used in the field of cryptography. Knowing one of the generated numbers, or the seed, it is possible to reproduce the entire series of random numbers without much effort. In addition, the period of this algorithm is quite small.

In the 1949 talk, Von Neumann claimed that "Anyone who considers arithmetical methods of producing random digits is, of course, in a state of sin." What he meant, he elaborated, was that there were no true "random numbers", just means to produce them, and "a strict arithmetic procedure", like the middle-square method, "is not such a method" [9].

#### IV. LINEAR CONGRUENTIAL GENERATOR

One of the most frequently used PRNGs is the Linear congruential generator. The theory behind them is relatively easy to understand, and they are easily implemented and fast.

The generator is defined by the recurrence relation (1):

$$X_{n+1} = (aX_n + c) \bmod m \quad (1)$$

Where  $m$  is the module,  $n \geq 2$ , the natural number, relat to which the remainder of the division is calculated;  $a$  is the factor ( $0 \leq a < m$ );  $X_0$  is the seed; ( $0 \leq X_0 < m$ ).

The advantage of this method is that an appropriate choice of parameters leads to a period that, unlike the middle-square method, is relatively long. Although not the only criterion, too short a period is a fatal flaw in a pseudorandom number generator.

Historically, poor choice of parameters led to ineffective implementations of the algorithm. A particularly striking example of this is RANDU, which was widely used in the early 1970s and led to many scientific results that are now being questioned due to the use of poor parameters [11].

Due to the structure of the algorithm, if one of the generated random numbers was used as a seed, the values following that number would be equal to the initial series of numbers. One of the properties of pseudorandom number generators is the ability to recreate a series of random numbers.

Outside the field of cryptography, this is quite useful. However, using this algorithm for cryptographic purposes can lead to problems. An outsider using a single random

number can get the entire series of random values following that number. If these numbers were used to generate keys, it would be possible to decrypt all the encrypted data.

#### V. THE YARROW ALGORITHM

One of the most simple and efficient CSPRNGs is the Yarrow algorithm. The Yarrow algorithm is one of the few CSPRNGs that have open-source code and are used widely (Fig. 1.).

The Yarrow algorithm has four main components:

- Entropy accumulator, which collects information from entropy sources and divides them into two groups based on the speed of information updates.
- Reseeding mechanism, which periodically updates the seed using new entropy.
- Generation mechanism, which generates random numbers based on the seed.
- Seed control mechanism, which determines when the seed needs to be updated.

One of the most critical parts of this algorithm is reseeding. To update the seed, the previous seed is combined with the obtained entropy using the SHA-1 hash function. After the seed is updated, the generation

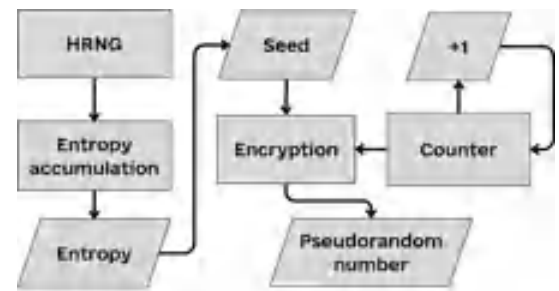


Fig. 1. General structure of the Yarrow algorithm

mechanism starts generating a new sequence of random numbers.

Thus, if a third party discovers the data from which entropy is derived, they will not be able to learn the seed since it is based on the previous seed. Additionally, if the seed is known, it is possible to only calculate a small portion of the random numbers since the seed is constantly updated [6].

Instead of a PRNG, the generation mechanism uses a block cipher in counter mode. The seed is encrypted with a number, which increases by one with each generated number. Thus, to calculate a random number, knowledge of the key is required.

While the seed is cryptographically secure, it is still possible to calculate the stream of numbers, if the initial entropy is known. The limited amount of PRNGs makes that a lot easier, as some are more common in different environments.

#### VI. DEVELOPED ALGORITHM STRUCTURE

Utilizing the foundational principles of the Yarrow algorithm, a cryptographically secure pseudorandom number generator was developed (Fig. 2.). The primary objective of this algorithm is to provide the user with the flexibility to create multiple variations without negative drawbacks.

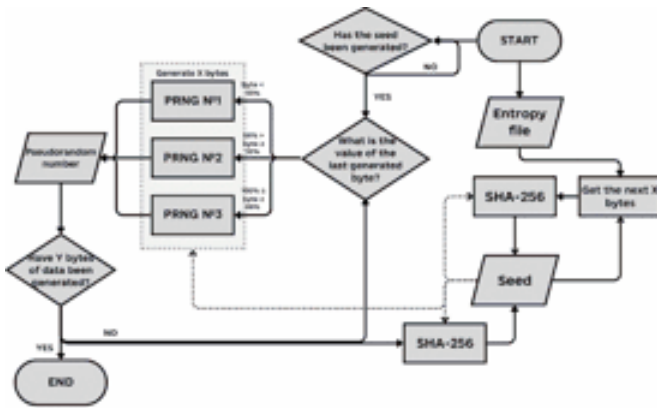


Fig. 2. Developed algorithm structure

The entropy accumulation and number generations are run in parallel. This algorithm does not present new improvements for entropy accumulation; thus, it was greatly simplified. Once a specified amount of entropy is obtained, the seed is updated using the SHA-256 algorithm, hashing the previous seed with the entropy.

When a seed is generated, one of many PRNGs may be chosen. The PRNG choice is determined by the value of the last byte generated, relative to the maximum value of a byte. If no bytes have been generated yet, the PRNG assigned to the lowest value of a byte is used. Using the seed the PRNG generates an assigned number of bytes, when enough are acquired, they can be used as a key. The hash function is used to update the seed using the generated value. Until there is enough data produced, the algorithm keeps generating numbers. It should also be noted that the number of bytes generated before reseeding should be kept low, otherwise, it may compromise the integrity of other generated numbers.

The selection of the PRNG is based on the value of the last generated byte. This approach aims to enhance the randomness of the generated numbers. The algorithm diversifies the PRNG selection, leading to a wider range of possible pseudorandom number sequences. Furthermore, the use of Multiple PRNGs provides additional security. As there is a considerable amount of PRNGs, each algorithm variant created is unique. Making it much more difficult to identify the generator that was used.

The seed is used to generate each value, but due to the way PRNGs are built, an update is also required. For this reason, the seed is updated each time a new number is generated. This provides the guarantee that each output of the PRNG is unique, even if the same PRNG was used more than once. The use of entropy when reseeding provides a guarantee that if the value of the seed is compromised, it will not be known when it is updated.

The created algorithm is extremely flexible. It offers a selection of several PRNGs and algorithm settings that can be altered based on the user's individual needs.

## VI. DEVELOPED ALGORITHM STATISTICAL TESTING

A pseudorandom number generation algorithm must pass statistical tests to be deemed cryptographically secure [10]. Numerous statistical tests that have varying degrees of success in determining the randomness of the CSPRNG can be used to determine whether a set of numbers exhibits any patterns.

We can single out the set of statistical tests developed by NIST, the National Institute of Standards and Technology's primary research organization, among the others. A bitstream is examined for statistical randomness by the NIST tests.

Each test examines the bitstreams for properties that a perfectly random series of bits would have. The randomness of the bitstream is represented by the p-value. If the P-value is 1, the sequence is completely random; if it is 0, the sequence is predictable. The probability of incorrectly classifying a random sequence exists in every statistical test. For NIST tests, it is 0.01. As a result, the sequence is random with a chance of 99 percent if the P-value is greater than 0.01 [7].

The full set of statistical NIST tests was used for testing. For further information regarding these tests see [3; 7].

For testing purposes, a program was created using the developed algorithm. The following algorithms were implemented in the program mentioned above [8]:

- MersenneTwister: Mersenne Twister 19937 generator
- Xorshift: Multiply-with-carry XOR-shift generator
- Donald E. Knuth's subtractive random number generator
- WH2006: Wichmann-Hill's 2006 combined multiplicative congruential generator
- Mrg32k3a: 32-bit combined multiple recursive generator with 2 components of order 3
- Palf: Parallel Additive Lagged Fibonacci generator

Two variants of the algorithm were used for testing. Both

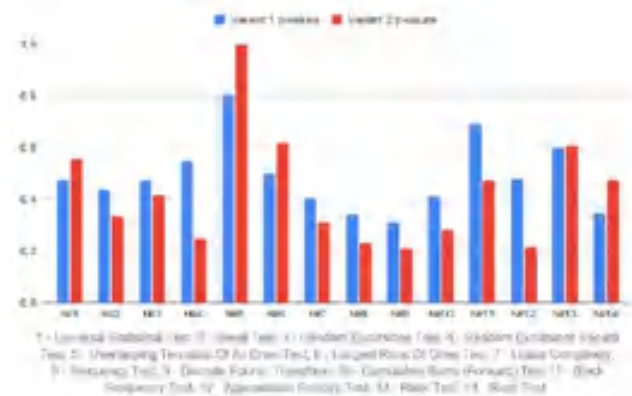


Fig. 3. NIST statistical test results

variants generate 4 bytes of pseudorandom data or 4 bytes of entropy before reseeding. Collection of the entropy takes 4 milliseconds. However, different PRNGs are used in each algorithm. The first variant uses Xorshift, WH2006, and MersenneTwister. The second variant Mrg32k3a, Pals, Subtractive generator.

Five series of tests were conducted on both of the algorithm variants. The average of the results can be seen on Fig.3. As all of the test results are significantly greater than 0.01 by a significant amount, the algorithm used in both variants is statistically random.

## VII. CONCLUSION

PRNGs process the seed using a specific algorithm. A series of seemingly random numbers can be easily calculated if the seed or one of the generated numbers is known.



To find out further points of interest a cryptographically secure pseudorandom generator - Yarrow was analyzed. A new cryptographically secure pseudorandom generator was developed, combining the strength of both statistical and cryptographic pseudorandom generators. The created algorithm allows to easily develop new variants, making each harder to distinguish.

The developed generator has the following key attributes:

- The seed is generated using entropy, which is truly random.
- The seed is constantly being reseeded using the acquired entropy.
- The seed is reseeded each time a value is generated using the generated value.
- Multiple different PRNGs are used for number generation, one of which is chosen based on previous output.

Multiple algorithm variants were tested using the statistical NIST suite, each used different PRNGs for number generation. It was concluded that the created generator is statistically random. However, while acceptable, one of the algorithm variants continuously showed worse results.

Thus, the created pseudorandom number generator can be considered cryptographically secure, however, the quality of the output greatly depends on the quality of the PRNGs used.

#### LIST OF REFERENCES

- [1] Anley, C. (2016, October 4). "telling the time" - Owasp Talk by Chris Anley on exploiting insecure randomness in web applications. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=WiGif0D3fIc>
- [2] Common weakness enumeration. CWE. (2023, June). <https://cwe.mitre.org/data/definitions/330.html>
- [3] Guide to the statistical tests - random bit generation. NIST. (2023, June 13). <https://csrc.nist.gov/Projects/random-bit-generation/Documentation-and-Software/Guide-to-the-Statistical-Tests>
- [4] Kelsey, J., Schneier, B., & Ferguson, N. (1999). Yarrow-160: Notes on the Design and Analysis of the Yarrow Cryptographic Pseudorandom Number Generator. [schneier.com. https://www.schneier.com/wp-content/uploads/2016/02/paper-yarrow.pdf](https://www.schneier.com/wp-content/uploads/2016/02/paper-yarrow.pdf)
- [6] Nakov, S. (2023). Secure random generators (CSPRNG). Practical Cryptography for Developers. <https://cryptobook.nakov.com/secure-random-generators/secure-random-generators-csprng>
- [7] National Institute of Standards and Technology, E., B. I. L., E., B. I. L., Rukhin, A. L., Soto, J., Nechvatal, J. R., Smid, M. E., Barker, E. B., Leigh, S. D., Levenson, M., Vangel, M., Banks, D. L., Heckert, N. A., Dray, J. F., & Vo, S., NIST (2010). Retrieved August 28, 2023, from <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/legacy/sp/nistspecialpublication800-22r1a.pdf>.
- [8] Rüegg, C. (n.d.). MathNet.Numerics.random - math.net numerics documentation. Mathdotnet. <https://numerics.mathdotnet.com/api/MathNet.Numerics.Random/index.htm>
- [9] Wikimedia Foundation. (2023a, May 9). Middle-square method. Wikipedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/Middle-square\\_method](https://en.wikipedia.org/wiki/Middle-square_method)
- [10] Wikimedia Foundation. (2023b, May 16). Yarrow algorithm. Wikipedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/Yarrow\\_algorithm](https://en.wikipedia.org/wiki/Yarrow_algorithm)
- [11] Wikimedia Foundation. (2023c, August 12). Linear Congruential Generator. Wikipedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/Linear\\_congruential\\_generator](https://en.wikipedia.org/wiki/Linear_congruential_generator)

# QR codes in production

Svetlana Sotnik, Anton Andreiev

Department CITAR, Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine,  
Kharkiv, av. Nauki. 14., email: anton.andreiev@nure.ua

**Annotation:** Within framework of our work we have reviewed use of QR codes in production, taking into account their important role in production management. Starting with breakdown of structure and features of QR codes and diagram of scanning process, we presented variety of ways in which QR codes can be used in manufacturing. Particular attention was paid to inventory management and we gave concrete examples of how QR codes can be used to optimise and control inventory. In addition, overview of main types of QR codes that can be used in production management was given.

**Key words:** structure, type, QR codes, production, production management.

## I. INTRODUCTION

Modern information technology is changing way we do business. They provide fast and seamless communication between people, allowing them to exchange information anytime and anywhere. The introduction of Internet, wireless networks, and mobile devices has contributed to the development of technologies that make our lives more convenient and productive. Digital cameras, smartphones, tablets, and other mobile devices have become an integral part of both our lives and production, allowing us to keep abreast of developments in science and technology [1-3].

QR codes in manufacturing play an important role in data management, product tracking and improving production processes.

The widespread use of smartphones and other devices has led to an increase in the use of QR codes, so the topic of QR codes in science and technology is relevant.

## II. FEATURES OF QR CODES

There are many different QR codes (Fig. 1) [4].

The most common QR codes are 2D barcodes, which can store information both horizontally and vertically. This allows them to encode more information than linear barcodes, which encode information horizontally. QR codes can be scanned using barcode scanning apps on smartphones. The user only needs to point camera at QR code to access information encoded in it.

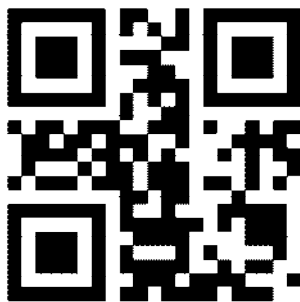


Fig. 1. Example of QR code

The Quick Response Code, which can be abbreviated to "QR code", is used to access and read information through simple use of two-dimensional barcodes. The QR code has

been subject of many systematic studies on how information is organised and stored by organising QR codes in 2D matrix, along with columns and rows of that matrix. The matrix is data storage space with elements that are visible on black and white QR codes, as shown in Figure 1 [2].

QR codes are used in areas that involve transmission of textual information, such as mail messages, phone numbers, hyperlinks, or other text files. This is done by capturing image of QR code, which is then interpreted using QR code reader or smartphone applications that are prepared for this purpose.

QR code also contains various patterns: search patterns, alignment patterns, synchronisation patterns, and other types such as formatting information and time intervals, as well as other variables. These make QR code more susceptible to decoding and detection, allowing QR codes to be used in simple and effective way.

The structure of QR code can be divided into following main elements:

- top and bottom centre bars contain information about code format and size. This information is used by QR code scanners to determine how to interpret code;
- search patterns are located in four corners of code and help QR code scanners quickly and accurately locate code. These patterns consist of cells arranged in specific order;
- alignment patterns are located inside code and help QR code scanners align code for accurate scanning. These patterns consist of cells arranged in specific order;
- synchronisation patterns are located within code and help QR code scanners synchronise scanning of code. These patterns consist of cells arranged in specific order;
- data – this area of code contains actual information that is being encoded.

Below is process of scanning barcode in Figure 2, which will be checked for validity using QR reader and integrated with blockchain.



Fig. 2. Process of scanning QR code

If QR code has been incorrectly printed or encoded, it may make it difficult to scan. Blurred or distorted codes may cause reading errors.

### III. WAYS QR CODES ARE USED IN PRODUCTION

Let's take closer look at Ways of using QR codes in production:

- product tracking. QR codes can be placed on each piece of product or packaging. These codes contain product information such as production date, batch numbers, serial numbers, identifiers and other data. This allows products to be tracked through all stages of production and logistics;

- quality Control. QR codes can be used to access information about quality standards and production instructions. They can help quality control personnel quickly verify that products meet standards and regulations;

- inventory management. QR codes can help simplify inventory and inventory management. Scanning codes can quickly find out how many items are available in stock and notify you when additional purchases are needed;

- customer Service and Support. Manufacturers can include QR codes on their products that provide access to user manuals, FAQs and contacts for customer service. This can improve consumer experience and make it easier to resolve problems;

- manufacturing instructions. QR codes can be used on production line to give operators access to instructions for assembling, setting up and maintaining equipment. This reduces risk of errors and increases productivity;

- equipment tracking. QR codes can be placed on equipment and machines, making them easier to identify and schedule maintenance. Technicians can scan codes to access service history and maintenance recommendations;

- process Management. QR codes can be used to collect data on production processes. Employees can scan codes to mark tasks completed, log time and other information about production process;

- employee training. QR codes can provide access to training materials and video tutorials for staff. This helps new employees quickly learn processes and equipment;

- resource tracking. QR codes can be used to track consumption of resources such as raw materials, energy and supplies. This helps manage costs and optimize resource utilization.

Thus, use of QR codes in production reduces errors, increases efficiency and provides more transparent and controlled production process.

An example of application of QR codes for production management, and more specifically, inventory management (Tabl. 1).

Table 1. Example of QR codes application for production

Example	Features
QR codes on products and packaging	Each product or packaging can be labelled with QR code that contains product information such as name, serial number, production date and expiry date.
Warehouse inventory	QR codes can be used to identify each item in warehouse. Scanning codes allows operators to quickly find out quantity and location of items.

Example	Features
Ordering and Supplies	QR codes on product packages allow additional supplies to be ordered quickly and accurately. Suppliers can also use QR codes on goods to track delivery status.
Price labelling	QR codes can contain information on price, discounts and promotions. They are used on shelves and attached to products, making it easy to update price and product information.
Batch tracking systems	QR codes help track batches of products. Each batch can be labelled with unique QR code that contains information about date of production, supplier and other details.
Palletising and freight shipments	QR codes are used to identify freight shipments on pallets. This simplifies process of loading, unloading and tracking shipments.
Inventory with mobile devices	Warehouse staff can use mobile devices with cameras to scan QR codes for inventory. This cuts down on time and reduces chance of errors.
Asset tagging	QR codes are used to tag equipment and assets in warehouse. Operators can scan codes to access information on status and technical specification of assets.
Recording movement of goods	QR codes are used to record movement of goods within warehouse. Each item moved can be scanned as it is moved, making it easier to track routes and locations of goods.
Documentation links	QR codes can link to electronic documentation such as product handling or security instructions. Users can scan codes to quickly access this information.

Choosing type of QR code for manufacturing inventory management depends on specific needs of your business and information requirements you want to include in code.

Let's take look at most common types of QR codes and their application in inventory management:

#### 1. Standard QR Code.

Application: The Standard QR Code can be used for general product information including product name, date of manufacture and expiry date. This is suitable for most products.

#### 2. Data Matrix (Fig. 3) [6].

Application: Data Matrix is typically used to encode large amount of information in small area. It can be useful for storing detailed product information, including technical specifications or equipment service history.



Fig. 3. Example of Data Matrix

### 3. PDF417 (Fig. 4).

Application: PDF417 allows you to encode large amount of data including text, numbers and letters. This type of QR code can be used to store product information such as service instructions, quality certificates and technical specifications.



Fig. 4. Example of PDF417

### 4. Aztec Code (Fig. 5).

Application: Aztec Code can be used to store information about freight shipments and shipments of goods. This type of QR code has high degree of error correction, making it reliable for use in logistics systems.



Fig. 5. Example of Aztec Code

### 5. MaxiCode (Fig. 6).

Application: MaxiCode is often used in logistics and transport. It is suitable for encoding information about location and routes of freight shipments.

### 6. Custom QR Code (Fig. 7).

Application: As your business and specific needs grow, you may decide to create custom QR code type that meets your requirements. For example, you can add additional data fields, database links or documentation.

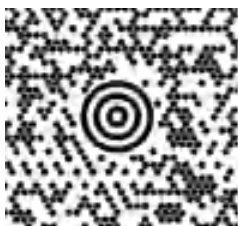


Fig. 6. Example of 2D MaxiCode



Fig. 7. Example of MaxiCode

It is important to do thorough analysis and choose type of QR code that fits your specific inventory management requirements.

## IV. CONCLUSIONS

In course of conducted review on topic of QR codes in production, with focus on production management, structure and QR codes features were firstly highlighted and scheme of process of scanning codes was given.

Then bias was made on consideration of various ways of QR codes application at production. Specific examples of codes application for production management were presented using example of inventory management. An overview of main types of QR codes for production management is given.

The conducted researches allow to understand better how QR codes promote increase of efficiency and accuracy of production process management and also will be clue for further choice of QR code type to be used within framework of production management.

## LIST OF REFERENCES

- [1] Z. Deineko, S. Sotnik, V. Lyashenko, "Multimedia Systems in Education," *International Journal of Academic Information Systems Research (IJAISR)*. 2022, vol. 6 issue 7, pp. 23-28.
- [2] Z. Deineko, S. Sotnik, V. Lyashenko, "Confidentiality of Information when Using QR-Coding," *International Journal of Academic Information Systems Research (IJAISR)*. 2022, vol. 6(9), pp. 10-15.
- [3] Zh. Deineko, S. Sotnik, V. Lyashenko, "Dynamic and Static QR Coding," *International Journal of Academic Engineering Research (IJAER)*. 2022, vol. 6 issue 11, pp. 1-6.
- [4] YM Al-Sharo, AT Abu-Jassar, S Sotnik, V Lyashenko, "Generalized Procedure for Determining the Collision-Free Trajectory for a Robotic Arm," *Tikrit Journal of Engineering Sciences*. 2023, 30 (2), pp. 142-151.
- [5] AJA Tahseen, A Hani, V Lyashenko, A Ayman, S Sotnik, S Ahmed, "Access Control to Robotic Systems Based on Biometric: The Generalized Model and its Practical Implementation," *International Journal of Intelligent Engineering & Systems*. 2023, pp. 313-328.
- [6] L. Karrach, E. Pivarčiová, P. Božek, "Identification of QR code perspective distortion based on edge directions and edge projections analysis," *Journal of imaging*. 2020, T. 6, №. 7, pp. 67.

# Розроблення структурної схеми модуля автоматизації на базі RFID - технологій

Софія Хрустальова<sup>1</sup>, Світлана Вишванюк<sup>1</sup>

1. Department of Computer-Integrated Technologies, Automation and Robotics (CITAR),  
Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine,  
Nauky Ave. 14, Kharkiv, 61166,, email: svitlana.vyshvaniuk@nure.ua

**Анотація:** Дана робота присвячена розробці експериментального макета автоматизованої системи обліку на складі сучасного виробництва з використанням RFID – технологій. Для цього було проведено аналіз сучасних автоматизованих систем обліку на складі та показані їх недоліки. Для усунення вказаних недоліків, було розроблено структурну та функціональну схему макета автоматизованої системи обліку на складі сучасного виробництва, що дало можливість обрати апаратні модулі, на базі яких буде зібрано експериментальний макет.

**Ключові слова:** склад, ІоТ, системи керування, RFID.

## I. ВСТУП

В сучасному світі, де вимоги до ефективності та точності виробництва невідмінно зростають, розробка автоматизованих модулів обліку готової продукції стає надзвичайно актуальним завданням. За роки сталого та стрімкого розвитку технологій Інтернету речей (ІоТ), ця галузь стала країною необмежених можливостей, які дозволяють переосмислити та оптимізувати процеси виробництва, а також забезпечити високу якість та точність обліку готової продукції [1].

Завдяки зростанню обсягів виробництва та зменшенню ресурсів, витрачених на виробництво, підприємства та виробники все більше вдосконалюють свої процеси. І в цьому контексті, модулі обліку готової продукції, інтегровані з ІоТ, надають безцінний внесок у підвищення ефективності виробництва, покращення контролю над процесами та зниження витрат [2].

Але незважаючи на переваги від впровадження таких систем, вони мають ряд недоліків:

- вразливість до технічних проблем: Сучасні системи можуть бути вразливі до технічних проблем, таких як збої обладнання або програмного забезпечення. Це може призвести до втрати даних або зупинки виробництва;

- складність впровадження: Встановлення та налаштування нової системи може бути складним завданням і вимагати значних зусиль та часу. Це може створити перерви в роботі підприємства під час переходу на нову систему;

- обмежена гнучкість: Деякі системи можуть бути обмежені в можливості адаптуватися до змін виробництва або бізнес-процесів підприємства.

В наслідок чого дослідження шляхів для виправлення або мінімізації вище перерахованих недоліків, завдяки розробці нових структурних рішень системи автоматизації обліку готової продукції на виробництві, є актуальним дослідженням, якій має не тільки наукову, але й практичну значимість.

II. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕННЯ Estler та інші використовували технологію радіочастотної ідентифікації (RFID) в логістиці, розподілі та складуванні, в основному для ідентифікації та визначення місця розташування продуктів, вантажних приміщень, коробок, піддонів, робочих та інших об'єктів, а також прикріпив електронні метки RFID до відповідних цільових об'єктів для реалізації відстеження в режимі реального часу. Місцезнаходження готової продукції на складі і розуміння в режимі реального часу кількості, локалізації, умов поставки та виходу готової продукції на склад [3]. Технологія RFID може покращити ланцюг поставок і забезпечити ефективне управління для скорочення витрат на складах. Justinvil та інші запропонували оптимізацію управління трьохмерним зберіганням, комплектацією та розподілом на основі RFID в ланцюзі поставок одягу. Шляхом розробки технології розвертання RFID і застосування електронних методів RFID пропонується трьохмерний складський центр із застосуванням RFID і оптимальним управлінням маршрутом комплектування кінцевого розподілу, щоб підвищити ефективність і точність зберігання, збір та дистрибуцію [4]. Kul'ga об'єдналася з SAINT ANGELO для розробки системи управління виробництвом і логістикою на основі технології RFID і системи управління дистрибуцією. Через систему управління виробництвом він контролює хід виробництва в режимі реального часу. Він також має технологію обробки виробничих даних, яка може ефективно обробляти великий обсяг даних, що передаються системою RFID. Використання технології RFID в процесах зберігання і розподілу може реально підвищити ефективність управління складуванням і розподілом. Структура автоматизованої системи з використанням технології RFID у складському виробництві приведена на рисунку 1.

Вона складається з наступних елементів:

- RFID read/write device, апаратний модуль для запису та зчитування RFID методу;
- the target object enters the warehouse, об'єкт ідентифікації в системі автоматизації;
- Enter the Information of the target, вивід для оператора та самої системи за технологією M2M, інформацію про розпізнаний об'єкт;
- Central database, база даних для збереження інформації. Дає можливість аналізувати та контролювати ланцюг поставки на складі;
- RFID Information Management system, елемент системи Central database, яка реалізує базу даних співвідношень кодів RFID до певного об'єкту на складі.

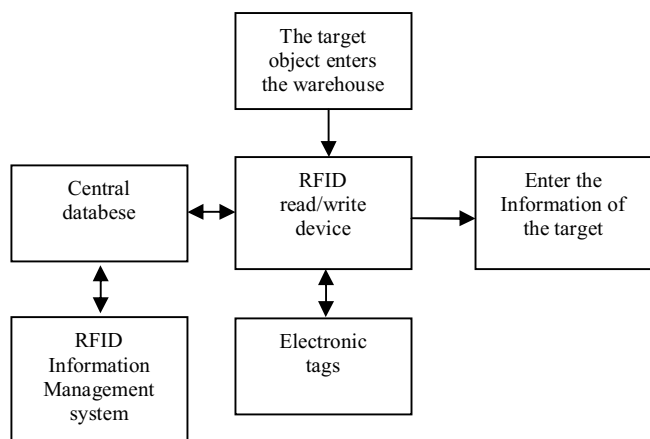


Рисунок 1 – Структура автоматизованої системи з використанням технології RFID у складському виробництві

Базуючись на запропонованій структурі автоматизованої системи з використанням технології RFID у складському виробництві (рис.1), розробимо функціональну схему, на базі якої потім можна буде провести аналіз та обрати апаратні модулі, та програмне забезпечення для її реалізації. Розроблена функціональна схема макета автоматизованої системи обліку на складі сучасного виробництва, приведена на рисунку 2.

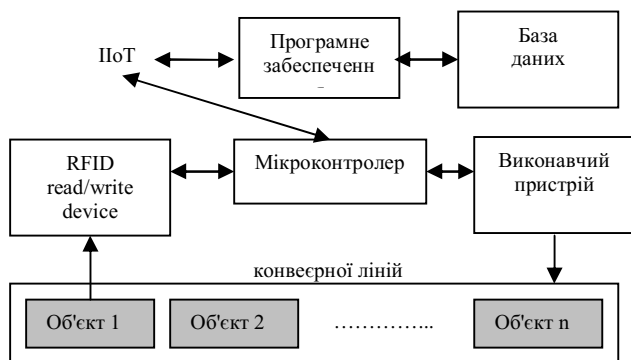


Рисунок 2 – Функціональна схема макета автоматизованої системи обліку на складі сучасного виробництва

Пояснимо принцип роботи розробленої функціональної схеми макета автоматизованої системи обліку на складі сучасного виробництва. Нехай об'єкт1, об'єкт2, ..., об'єкт n – об'єкти в складській системі, які потрібно розпізнати та ідентифікувати, при умові, що всі вони мають RFID мітку. Всі об'єкти фізично знаходяться на конвеєрній лінії, це забезпечить динамічність та швидкість обробки, та дає можливість не втрачати часу, поки іде обробка та прийняття рішень. Після прийнятого рішення, розпізнаний об'єкт за допомогою виконавчого пристрою, буде переміщений відповідно до поставленої мети. Для зчитування RFID міток, буде використовуватися апаратний модуль RFID read/write, завдання якого буде зчитувати дані для ідентифікації об'єктів, для майбутнього розпізнавання. Отримана інформація потрапляє на мікроконтролер.

Мікроконтролер – це апаратний модуль, який працює на базі мікроконтролера (AtMega, STM), та обробляє отримані дані для передачі їх через мережу ІоТ. Внаслідок чого, першим параметром для вибору апаратного модуля, є наявність модуля бездротового зв'язку або роз'єму для підключення витої пари. Отримані дані поступають на програмне забезпечення, яке пов'язано з базою даних. Отриманий результат з бази даних через мережу ІоТ надходить на мікроконтролер, який в залежності від отриманих даних приймає рішення по керуванню виконавчого пристрою, що дозволяє провести сортування об'єкта в залежності від його вмісту.

Наступним кроком, проведемо аналіз та оберемо апаратні модулі для реалізації функціональної схеми макета автоматизованої системи обліку на складі сучасного виробництва, представленої на рисунку 2 з урахуванням, що це буде експериментальний макет.

У вигляді модуля RFID read/write device пропонується використовувати RFID RC522, загальний вигляд якого представлено на рисунку 3.



Рисунок 3 – Загальний вигляд модуля RFID RC522 [5]

RC522 – це популярний модуль RFID (Radio-Frequency Identification), який використовується для бездротового зчитування та запису інформації на RFID-мітки та картки. Ось основні характеристики модуля RFID RC522:

- частотний діапазон 13,56 МГц, який є однією зі стандартних частот для RFID-комунікації;
- інтерфейс зв'язку з мікроконтролером, включаючи SPI (Serial Peripheral Interface) та UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter);
- дальність зчитування модуля RC522 залежить від антени та типу RFID-міток, але в середньому вона складає від кількох сантиметрів до декількох десятків сантиметрів;
- швидкість зчитування передачі даних, зазвичай, від 9600 біт/с до 115200 біт/с;
- підтримка стандартів, таких як MIFARE Classic 1K, MIFARE Classic 4K, MIFARE Ultralight, інші MIFARE-коди, а також ISO/IEC 14443 A;
- живлення від напруги 3,3 В, але деякі версії можуть працювати в діапазоні 2,5 В - 5 В;
- захист від колізій, завдяки вбудованим алгоритмам управління колізіями, який дозволяє ефективно взаємодіяти з багатьма RFID-мітками в одному полі.

RC522 – це дуже популярний RFID-модуль, який знаходить застосування у багатьох проектах з автоматизації та безпеки, включаючи системи контролю доступу, ідентифікації та слідкування.

В ролі мікроконтролера, пропонується в рамках даних досліджень з розробки макета автоматизованої системи обліку на складі сучасного виробництва використовувати модуль ESP8266 NodeMCU CH9102 ESP-12E, загальний вигляд якого представлено на рисунку 4.



Рисунок 4 – ESP8266 NodeMCU CH9102 ESP-12E [6]

ESP8266 NodeMCU CH9102 ESP-12E – це один з популярних мікроконтролерів, який використовується для розробки IoT-проектів та вбудованих систем. Основні характеристики цього модуля:

- мікроконтролер ESP-12E від компанії Espressif Systems. Це високопродуктивний мікроконтролер на основі процесору Tensilica L106, який працює на частоті 80 МГц;

- бездротовий зв'язок через Wi-Fi 802.11 b/g/n, що дозволяє підключати пристрої до мережі Інтернет.

- інтерфейси, включаючи GPIO, I2C, SPI, UART та інші, що робить його дуже універсальним для різних застосувань;

- флеш-пам'ять розміром 4 МБ для зберігання програмного коду та даних;

- живлення в діапазоні напруги від 3,3 В, велика частина версій підтримує живлення через USB-порт або зовнішні джерела живлення;

- ESP8266 NodeMCU можна програмувати на різних мовах програмування, включаючи Arduino IDE, Lua, MicroPython, та інші;

Та останнім апаратним модулем для реалізації макета потрібно обрати тип виконавчого пристрою. В реальних умовах це може бути якийсь двигун, наприклад, що керує переключенням напрямку переміщення об'єктів, в умовах експериментального макета оберемо серводвигун, який буде моделювати якісь-то дії, але в майбутньому його можна буде замінити на реле або інший виконавчий пристрій.

З точки зору реалізації програмного забезпечення для автоматизованої системи обліку на складі сучасного виробництва, планується розробка програми для ESP8266 NodeMCU CH9102 ESP-12E провести в середовищі Arduino IDE 2.1 [7], а розробку програмного забезпечення з інтерфейсом користувача (HMI) використовувати архітектуру «клієнт-сервер» на базі протоколу HTTPS [8], тобто використовувати Web

орендовану архітектуру. Внаслідок цього, База Даних буде реалізована на базі СУБД MySQL, на базі сервера Apache [9].

### III. ВИСНОВКИ

В рамках даних досліджень, автори провели аналіз сучасних автоматизованих систем обліку на складі сучасного виробництва. В результаті якого було виявлено ряд недоліків, таких як: обмежена гнучкість, вразливість до технічних проблем, складність впровадження. Це послужило відправною точкою для постановки завдання дослідження, з метою покращення сучасних систем обліку на складі сучасного виробництва. Для досягнення поставленої мети, в рамках даних досліджень, було розроблено загальну структуру автоматизованої системи з використанням технології RFID у складському виробництві, що дозволило запропонувати функціональну схему макету автоматизованої системи обліку на складі сучасного виробництва. На базі функціональної схеми макета, для розробки експериментального макета було обрано апаратні модулі та середовище розробки, як для мікроконтролера, так і запропоновано підхід для реалізації інтерфейса користувача (HMI) з використанням Web орендованої архітектури.

### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Madina, K. (2023). Regulatory Framework for the Formation of Costs Associated with the Production and Sale of Products. *Central Asian Journal of Innovations on Tourism Management and Finance*, 4(2), 67-72. <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/KHR8X>
- [2] Abdullaev Abdurauf. (2022). Problems Of Production Accounting And Processing Agricultural Products In The Conditions Of Market Relations. *International Journal Of Research In Commerce, It, Engineering And Social Sciences* ISSN: 2349-7793 Impact Factor: 6.876, 16(06), 129–134. Retrieved from <http://www.gejournal.net/index.php/IJRCIESS/article/view/684>
- [3] A. Estler, M. Bongers, C. Thomas, G. Hefferman, and G. Grzinger, "Application of a metal artifact reduction algorithm for c-arm cone-beam ct: impact on image quality and diagnostic confidence for bronchial artery embolization," *Cardio Vascular and Interventional Radiology*, vol. 42, no. 10, pp. 1449–1458, 2019..
- [4] G. N. Justinvil, E. M. Leidholdt Jr., S. Balter et al., "Preventing harm from fluoroscopically guided interventional procedures with a risk-based analysis approach," *Journal of the American College of Radiology*, vol. 16, no. 9, pp. 1144–1152, 2019.
- [5] Attar, H., & et al.. (2022). Control System Development and Implementation of a CNC Laser Engraver for Environmental Use with Remote Imaging. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022, Article ID 9140156, <https://doi.org/10.1155/2022/9140156>
- [6] Arduino IDE 2.2.1. Advance: <https://www.arduino.cc/en/software>
- [7] Dong, W., Zhou, H., Wu, R. et al. Acupuncture methods for insomnia disorder in the elderly: protocol for a systematic review and network meta-analysis. *Syst Rev*

- 12, 124 (2023). <https://doi.org/10.1186/s13643-023-02287-1>
- [8] Wahyudi, J., Asbari, M., Sasono, I., Pramono, T., & Novitasari, D. (2022). Database Management Education in MYSQL. *Edumaspul: Jurnal Pendidikan*, 6(2), 2413-2417. <https://doi.org/10.33487/edumaspul.v6i2.4570>
- [9] Attar, H., & et al.. (2022). Control System Development and Implementation of a CNC Laser Engraver for Environmental Use with Remote Imaging. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022, Article ID 9140156, <https://doi.org/10.1155/2022/9140156>.
- [10] Khalid, M. S., Yevsieiev, V., Nevliudov, I. S., Lyashenko, V., & Wahid, R. (2022). HMI Development Automation with GUI Elements for Object-Oriented Programming Languages Implementation. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 70.1, 139-145.
- [11] Nevliudov, I., & et al.. (2021). Development of a cyber design modeling declarative Language for cyber physical production systems, *J. Math. Comput. Sci.*, 11(1), 520-542
- [12] Nevliudov, I., & et al.. (2021). GUI Elements and Windows Form Formalization Parameters and Events Method to Automate the Process of Additive CyberDesign CPPS Development. *Advances in Dynamical Systems and Applications*, 16(2), 441-455.
- [13] Nevliudov, I., & et al.. (2020). Method of Algorithms for Cyber-Physical Production Systems Functioning Synthesis. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 8(10), 7465-7473.
- [14] Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Maksymova, S., Demska, N., Kolesnyk, K., & Miliutina, O. (2022, September). Object Recognition for a Humanoid Robot Based on a Microcontroller. In *2022 IEEE XVIII International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH)* PP. 61-64. DOI: 10.1109/MEMSTECH55132.2022.10002906
- [15] Моделі та методи кіберфізичних виробничих систем в концепції Industry 4.0 : монографія / І. Ш. Невлюдов, В. В. Євсєєв, А. О. Андрусевич, С. С. Максимова ; – Oktan Print – Prague. 2023. – 321 с.



# Моделювання пошуку вибухонебезпечних предметів методом електромагнітної спектроскопії та радіолокації

Владислав Заїкін<sup>1</sup>

1. Department of Computer-Integrated Technologies, Automation and Robotics (CITAR),  
Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine,  
Nauky Ave. 14, Kharkiv, 61166,, email: vladyslav.zaikin1@nure.ua

**Анотація:** В сучасному світі, коли питання безпеки через наявність вибухонебезпечних об'єктів стає надзвичайно актуальним, поєднання електромагнітної спектроскопії та радіолокації стає обіцяним напрямком досліджень. Це дає можливість отримувати комплексну та точну інформацію про фізичні параметри об'єктів та покращувати існуючі методи їх виявлення та ідентифікації. Такий підхід сприяє підвищенню ефективності та надійності процесу виявлення вибухонебезпечних об'єктів, забезпечуючи більш високий рівень безпеки для суспільства.

**Ключові слова:** гуманітарне розмінування, вибухонебезпечний предмет, робототехнічні системи.

## I. ВСТУП

Актуальність гуманітарного розмінування та пошуку вибухонебезпечних предметів у сучасному світі надзвичайно висока з кількох вагомих причин.

По-перше, ця проблема стосується збереження життів та запобігання травмам. В конфліктних регіонах залишилося значне число невибухлих вибухонебезпечних предметів, які становлять серйозну загрозу цивільному населенню [1].

По-друге, безпечний доступ до зон гуманітарної допомоги та відновлення інфраструктури є критично важливим. Гуманітарне розмінування дозволяє відновлювати інфраструктуру та сприяти розвитку після закінчення конфліктів.

По-третє, ця тема важлива для захисту військових та миротворців, які працюють в зонах з вибухонебезпечними предметами. Використання сучасних методів розмінування допомагає зменшити ризики для їхнього життя та здоров'я.

По-четверте, боротьба з тероризмом та злочинністю вимагає ефективних методів виявлення та усунення вибухонебезпечних предметів, які можуть бути використані для створення загрози громадській безпеці.

По-п'яте, постійний розвиток технологій у галузі гуманітарного розмінування дозволяє створювати більш точні та швидкі методи та засоби для пошуку та ідентифікації вибухонебезпечних предметів, що підвищує ефективність цієї діяльності та сприяє загальній безпеці. Ураховуючи ці аспекти, тема гуманітарного розмінування та пошуку вибухонебезпечних предметів залишається надзвичайно актуальною та важливою для сучасного світу.

## II. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕННЯ

Завданням гуманітарного розмінування є забезпечення безпеки людей та розкопка території, після завершення бойових дій, з видаленням вибухонебезпечних предметів (ВНП) та мін. Для цього

використовуються робототехнічні системи (РКВП) [2]. Основні завдання гуманітарного розмінування та РКВП включають в себе:

Пошук ВНП та мін:

- РКВП проводять розвідку території та використовують різні сенсори, такі як металопшукачі, теплові камери, магнітні датчики, для виявлення потенційно небезпечних об'єктів;

- системи штучного зору і технології обробки зображень можуть використовуватися для виявлення аномалій в навколишньому середовищі.

Ідентифікація ВНП:

- після виявлення ВНП, РКВП повинні ідентифікувати їх тип та ступінь небезпеки;

- для ідентифікації використовуються дані з сенсорів, рентгенівська та радіолокаційна технології, а також аналіз хімічного складу.

Розвідка мінних полів:

- РКВП проводять розвідку та картографування мінних полів, визначаючи межі небезпечних зон;

- радари, геодезичні прилади та GPS можуть використовуватися для цієї мети.

Очищення та знешкодження ВНП:

- після ідентифікації РКВП видаляють або знешкоджують ВНП, щоб забезпечити безпеку людей та дозволити використовувати територію;

- для цього можуть використовуватися спеціалізовані роботи, ручні роботи чи піротехніки.

Роботизовані комплекси:

- використання РКВП дозволяє виконувати завдання розмінування на безпечній відстані від ВНП та у різний час доби та під будь-якими метеорологічними умовами;

- роботизовані системи можуть бути оснащені різними сенсорами та засобами комунікації для виконання завдань.

Важливо зауважити, що гуманітарне розмінування вимагає великої обережності та високої кваліфікації персоналу, оскільки воно пов'язане із значними ризиками. РКВП допомагають зменшити ризики для людей, що здійснюють розмінування, і сприяють відновленню безпечності територій, після завершення конфліктів. На рисунку 1 представлено основні складові системи гуманітарного розмінування [3].

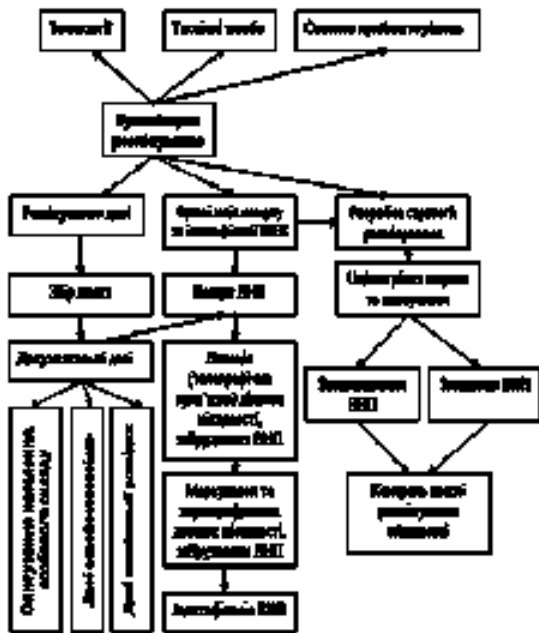


Рисунок 1 – Складові системи гуманітарного розминування

Виявлення вибухонебезпечних предметів (ВНП) є складним завданням, яке може виконуватися за допомогою різних методів і технологій. Основні напрямки виявлення ВНП включають [4]:

- Пошук окремих мін:
- цей напрямок вимагає виявлення індивідуальних ВНП, таких як міни та схожі на них предмети;
- для цього використовуються методи, такі як індукційний пошук (виявлення металевих предметів), радіохвильовий пошук (виявлення об'єктів за їх радіохвильовими характеристиками), магнітометричний пошук (виявлення магнітних об'єктів), нелінійний пошук (використання нелінійних ефектів при взаємодії з ВНП).

Розвідка мінних полів:

- цей напрямок передбачає розвідку великих територій для виявлення мінних полів та масових залягань ВНП;
- для цієї мети використовуються методи, які дозволяють оцінювати структуру ґрунту та виявляти аномалії, такі як радари, геодезичні прилади, GPS технології.

Демаскуючі ознаки ВНП можуть включати наступне:

- наявність вибухової речовини: Деякі ВНП можуть мати характерний запах або хімічний слід, який може бути виявлений хімічними датчиками;
- наявність металу: Багато мін містять металеві компоненти, і це може бути виявлено за допомогою металодетекторів;
- характерна форма мін та ВНП: Деякі ВНП мають характерну форму або розмір, який може бути виявлений за допомогою оптичних або образотворюючих технологій;
- неоднорідності середовища: ВНП можуть створювати порушення в навколишньому середовищі, такі як зміни в ґрунті, дорожньому покритті або рослинності.

Додаткові демаскуючі фактори можуть включати наявність провідної лінії управління міною, наявність годинникового механізму або електронного таймера, сейсмічний, магнітний або оптичний датчик цілі, антену для радіоприймальних пристроїв ВНП [5].

Важливо підкреслити, що кожен метод має свої переваги і обмеження, і для ефективного гуманітарного розминування часто використовують комбінацію різних методів та технологій. Вибір конкретного методу залежить від конкретних умов і завдань розминування.

Таблиця 1.1 – Демаскуючі ознаки вибухонебезпечних предметів

Вид контрасту між об'єктом і оточуючим середовищем	Тип об'єкта пошуку			
	П П М	П Т М	ВНП з електронними компонентами	ВНП з кабельними лініями управління
Відмінність електропровідності	+	+	+	+
Відмінність магнітної проникливості	±	±	+	+
Відмінність діелектричної проникності	+	+	+	+
Відмінність теплофізичних характеристик	±	±	±	±
Відмінність оптичних характеристик	±	±	±	±
Відмінність механічних характеристик	+	+	+	+
Наявність парів вибухової речовини (ВР)	±	±	±	±

В даний час найбільше застосування знайшли такі методи: електромагнітні (індукційний, радіохвильовий, магнітометричний, нелінійний), ядерно-фізичні, теплофізичний і механічний (механічного зондування). Саме вони дозволяють створити технічні засоби пошуку ВНП, які можуть бути придатними для гуманітарного розминування.

Проблеми, які виникають при застосуванні цих методів – це питання безпеки і зниження часових та матеріальних витрат на розминування. Інші вимоги: кліматичні, ефективність роботи в темний час доби, стійкість до механічних впливів, електромагнітна сумісність тощо [6].

Таблиця 1.2 – Сучасні методи та детектори виявлення ВНП

Метод	Детектори та обладнання для виявлення ВНП
Електромагнітний	Металошукач (MD)
	Радіолокатор (GPR)
	Електричний імпедансний томограф (EIT)
	Радіометр на міліметрових хвилях (MMWR)
	Мікрохвильовий радіометр (MWR)

Продовження таблиці 1.2

	Інфрачервоний спектроскоп (IR)
Оптичний метод	Лідар – детектор отримання та обробки інформації про віддалені об'єкти за допомогою активних оптичних систем (LIDAR)
Ядерно-фізичний	Детектори нейтронного випромінювання
	Ядерний квадрупольний резонанс (NQR)
Акустичний	Детектори акустичних та сейсмічних хвиль (A/S)
	Детектори звукових та ультразвукових хвиль
Механічний	Інженерні машини для виявлення та підриву мін і вибухових пристроїв
	Щупи
Газоаналітичний	Газоаналізатори та детектори парів вибухових речовин
Теплофізичний	Тепловізори
Біологічний	Сенсорна система тварин

На рисунку 2 представлено робота Warrior 710, якого використовують для підвищення можливостей робототехнічних комплексів, що тісно пов'язане зі збільшенням їхньої маси, компанія iRobot створила для військових цілей багатофункціональну платформу Warrior 710 масою 129-136 кг.



Рисунок 2 – Робот Warrior 710

Робот виконаний на гусеничному шасі і може розвивати швидкість до 12,9 км/год з вантажем на маніпуляторі масою 68 кг або тягти вантаж масою до 227 кг. За рахунок додаткових гусениць-фліпперів він здатний долати:

- вертикальні стінки заввишки до 47 см;
- сходи з кутом нахилу 45 °;
- брід завглибшки 76 см;
- окопи завширшки до 61 см.

Розміри робота: – довжина 0,89 м, ширина 0,73 м, висота 0,46 м.

Заряду акумуляторів вистачає на 10-16 годин роботи.

Дальність дії пульта дистанційного керування апаратом становить 800 м. При втраті зв'язку Warrior 710 здатний самостійно повернутися до вихідної точки для її відновлення [7].

Моделювання пошуку вибухонебезпечних предметів методом електромагнітної спектроскопії та радіолокації - це складний і багатоаспектний процес, який використовує різні фізичні принципи та технології для виявлення та ідентифікації підозрілих об'єктів. Основні компоненти такого процесу включають:

**Електромагнітна спектроскопія:** Цей метод використовує властивості об'єктів взаємодіяти з електромагнітним випромінюванням на різних частотах. Деякі вибухонебезпечні матеріали можуть мати характерні електромагнітні сигнатури. Моделювання цього процесу може включати створення

математичних моделей взаємодії матеріалів з електромагнітними хвилями та аналіз результатів.

**Радіолокація:** Радіолокація використовує радіосигнали для визначення відстані, напрямку та інших характеристик об'єктів. Для пошуку вибухонебезпечних предметів, можуть використовуватися різні типи радарів і сенсорів, які можуть виявити аномалії у відбиванні сигналу від таких предметів.

**Моделювання об'єктів:** Для моделювання вибухонебезпечних предметів потрібно створити відомості про їх фізичні властивості та електромагнітну сигнатуру. Це може включати в себе створення тривимірних моделей об'єктів та використання фізичних даних про їх склад і характеристики.

**Аналіз та ідентифікація:** Після збору даних за допомогою методів електромагнітної спектроскопії та радіолокації, виконується аналіз цих даних для визначення, чи присутні вибухонебезпечні матеріали. Це може включати в себе порівняння отриманих даних з відомими сигнатурами та використання алгоритмів машинного навчання для автоматичної ідентифікації об'єктів.

**Системи виявлення:** Остаточний етап - це інтеграція моделей та сенсорів в систему виявлення, яка може бути встановлена на дронах, рухомих платформах або інших транспортних засобах для пошуку вибухонебезпечних предметів у реальному часі.

Цей підхід може бути корисним для захисту важливих об'єктів, таких як аеропорти, стадіони або інші місця з високим рівнем безпеки, де необхідно виявляти та ідентифікувати потенційно небезпечні предмети [8].

**Підвищення ефективності:** Роботи можуть виконувати завдання швидше та ефективніше, зменшуючи час і витрати на операції та роботи з розмінування.

**Висока точність і надійність:** РТК мають високу точність та надійність, що допомагає у мінімізації помилок і підвищує успішність завдань.

**Робота в умовах надзвичайних обставин:** РТК можуть функціонувати цілодобово і в різних погодних умовах, що робить їх незамінними для виконання завдань у будь-який час.

**Спеціалізація:** Роботи можуть бути спеціалізовані для виконання різноманітних завдань, від розвідки до гуманітарного розмінування, що підвищує їхню універсальність.

Отже, РТК стають невід'ємною частиною військових та гуманітарних операцій, допомагаючи забезпечувати безпеку, ефективність та оперативність у виконанні завдань.

### III. ВИСНОВКИ

Пошук і ідентифікація вибухонебезпечних предметів (ВНП) для гуманітарного розмінування є складним завданням, яке вимагає від робота-комплексу для вибухонебезпечного розмінування (РКВП) спеціальних обладнання та інструментів.

РКВП повинні бути обладнані наступними компонентами: маніпуляторами для виконання різних операцій, металошукачем для виявлення металевих

предметів, засобами для відеозв'язку для комунікації з операторами, а також системами для прийняття рішень на кожному етапі гуманітарного розмінування, включаючи розвідку, пошук, маркування, ідентифікацію, знешкодження та знищення ВНП.

Напрямий рух другої ланки маніпулятора дозволяє камері отримувати чіткі зображення вибухонебезпечних предметів, що очікуються. Ключовою частиною проекту є порівняння сканованого зображення з вбудованими зображеннями в базах даних робота, а також обмін повідомленнями та зображеннями між роботом і оператором. Якщо модуль обробки зображень працює належним чином і здатен точно порівнювати зображення та приймати правильні рішення, то можна розробити алгоритм машинного навчання, який дозволить роботу швидко та точно розпізнавати ВНП, такі як міни.

З іншого боку, після встановлення зв'язку між роботом і оператором відбувається безперервний обмін повідомленнями та зображеннями. Конструкція шасі робота у формі прямокутника, яке прикріплене до півкола, дозволяє уникнути перешкод для сигналу металодетектора на шасі.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Про протимінну діяльність в Україні [Електронний ресурс] : Закон України від 6 грудня 2018 року № 2642-VIII // Верховна Рада України : офіційний веб-портал. – Режим доступу: <https://bit.ly/2RD1yF7>. – Назва з екрана.
- [2] Nevliudov, I., Yanushkevych, D., Ivanov, L. Analysis of the state of creation of robotic complexes for humanitarian demining. / I. Nevliudov, D. Yanushkevych, L. Ivanov // Technology Audit and Production Reserves, 6/2 (62). – 2021. – P. 47-52.
- [3] Чепков І. Б. Концептуальні засади створення вітчизняних ударно-розвідувальних наземних роботизованих комплексів важкого класу / І. Б. Чепков, А. С. Довгополий, О. М. Гусяков // Озброєння та військова техніка. - Київ: ЦНДІ ОВТ. - 2019. - №3 (23).- С. 16-25.
- [4] Denisenko A. M., Zirkevich V. N., Andrienko A. M. (2007), Mathematical model of destruction of light armored vehicles explosive ordnance explosive type. [Matematicheskaya model porazheniya legkih bronirovannyih mashin vzryivoopasnyimi predmetami fugasnogo tipa], Artilleriyskoe i strelkovoe voozuzhenie, Kyiv, No.4, pp. 34-37.
- [5] Мосов С. П., Нероба В. Напрями застосування безпілотної авіації для виконання завдань розмінування: світовий досвід. Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Серія: військові та технічні науки. Хмельницький, 2020. № 1 (79). С. 172–185. DOI: <https://doi.org/10.32453/3.v79i1.105>.
- [6] М. Підгородецький. Фізичне моделювання мін та інженерних боеприпасів, адекватних за показником теплової інерції / М. Підгородецький, Т. Куртсеїтов, В. Ясько, І. Ментус // Озброєння та військова техніка. - DOI: <https://doi.org/10.33099/2304-2745/2021-2-72/10-127>.
- [7] Шафоростов, Д. Д. (2022). Розроблення програмного модуля маніпуляторів роботехнічних систем
- військового та спеціального призначення для пошуку вибухонебезпечних предметів.
- [8] Krivtsun, V. I., Zbrutskyi, O. V., & Kovalchuk, V. M. (2022). ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ВИЯВЛЕННЯ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ПРЕДМЕТІВ ІНДУКЦІЙНИМ ТА РАДІОХВИЛЬОВИМ МЕТОДАМИ НА ОСНОВІ РЕЗУЛЬТАТІВ ОДНОФАКТОРНИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ. Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, 26, 73-80.

# BEAM Robotics: Combining Biological Principles and Technological Solutions for More Adaptive and Energy-Efficient Robots

Karetyna Stetsenko

1. Department of Computer-Integrated Technologies, Automation and Robotics (CITAR),  
Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine,  
Nauky Ave. 14, Kharkiv, 61166,, email: katelyna.stetsenko2@nure.ua

**Abstract:** The research and development of BEAM robots remains relevant in light of the development of new approaches and methods in robotics and biology, as well as for solving specific practical problems related to ecology and medicine. BEAM robots provide an opportunity to study biological systems and their principles in more detail, which can contribute to the development of new approaches in medicine and biology. In addition, due to their energy efficiency, BEAM robots can be used to monitor and study the natural environment, which is important for solving environmental problems. These robots can serve as useful pedagogical tools to educate and inspire students and researchers, helping them to learn the basics of robotics and biology.

**Keywords:** BEAM robotics, biological principles, microkernels, energy efficiency, programmability, reliability, biological inspiration, mechanical sensors, robotics, ecology, medicine.

## I. INTRODUCTION

Modern robotics is constantly evolving, looking for new approaches and innovative concepts to create more efficient and functional robots. Among these approaches is BEAM robotics, a class of robots that takes its inspiration from biological systems and offers a unique paradigm for creating "living" mechanical structures. BEAM robots, which operate without the use of microcontrollers and software, open up new possibilities in robotics, offering simple but effective ways to solve complex problems.

## II. DESIGN FEATURES OF BEAM ROBOTS

BEAM (Biology, Electronics, Aesthetics, and Mechanics) robots are a class of robots that are developed with biological principles of artificial intelligence in mind. This approach to robot design is inspired by biological systems and seeks to create robots that can function similarly to biological organisms. This approach is based on the idea of developing simple mechanisms to solve complex problems, and its main feature can be seen in the absence of microcontrollers and software. Instead, BEAM robots use simple electrical circuits to control their actions. This approach turns them into "living" robots that have interesting advantages over traditional robots.[1-3]

BEAM robots can look very different as they are a broad class of robots and their appearance can depend on the specific design and tasks they are meant to perform. However, there are some common features that can be characteristic of the average BEAM robot [4-8]:

- mechanical design: BEAM robots usually have a mechanical structure that can mimic the shape and movement of biological organisms. For example, it could be a small mechanical "caterpillar" or "gopher" that is made up

of segments that move according to a special mechanical design.

- sensors: BEAM robots can be equipped with simple sensors, such as photoresistors that respond to changes in light conditions, or mechanical sensors that respond to touch. These sensors allow robots to interact with their environment.

- no microcontrollers: One of the main features of BEAM robots is the lack of complex electronic components such as microcontrollers. They use simple electrical circuits to control their behaviour. This may include mechanical switches that provide basic decision-making.

- aesthetics: BEAM robots are often designed with aesthetic aspects in mind and try to mimic natural forms and movements. Their appearance can be an important aspect of their design.

- energy supply: BEAM robots can use a variety of energy sources, such as solar panels or batteries, depending on the specific task and environment in which they operate.

- motor activity: In most cases, BEAM robots have limited motor activity and can perform simple actions such as moving forward, reacting to light, or stopping when they touch an obstacle.

In general, BEAM robots aim to be simple and different from traditional robots that use complex electronics and software Figure 1. They provide an opportunity to study biological principles and demonstrate energy efficiency and reliability in a variety of contexts, from science to practical applications [9-14].



Figure 1 – Appearance of the BEAM robot

The design features of BEAM robots are as follows:

- an integrated approach to nature and technology: BEAM robotics combines biological inspiration with technology to create robots that are more like living organisms, integrating biological principles with electronics, mechanics and aesthetics. [15,16]

- energy efficiency: BEAM robots are notable for their impressive energy efficiency, as they have a unique ability to "rationalise" their energy and life. They are able to minimise their energy consumption and optimise their actions in order to achieve maximum performance with limited resources. This feature proves to be extremely useful in industries where reliability and durability are crucial factors, such as search and rescue. BEAM robots can use various types of stimuli, such as sound, light, radio frequencies and temperature changes, to interact with their environment and perform their functions. This allows them to make the most efficient use of the surrounding resources and ensure stable operation even in difficult conditions.

- minimalist design: BEAM robots feature a minimalist design that makes them lightweight and compact, and reduces the complexity of their construction compared to more traditional robots.[17,18]

- adaptability to the environment: One of the key advantages of BEAM robotics is their ability to adapt to changes in the environment and use natural energy sources, such as solar panels, for power. This allows them to work efficiently and for long periods of time while minimising energy consumption.

- self-organisation: Some BEAM robots are noted for their ability to self-organise. For example, a team of robots can work together to solve problems or coordinate actions without centralised control.

- cooperation with the biological world: BEAM robotics may have the potential to be used in nature research and interaction with living organisms.

- alignment with environmental goals: The minimalist and energy-efficient nature of BEAM robotics can help reduce negative environmental impacts.

- social robotics: One of the specific applications of BEAM robotics is social robotics. These robots can be used to interact with humans in a variety of scenarios, including education, therapy, and entertainment [19].

Comparing BEAM robots to existing classes of robots, the advantages are as follows:

- energy efficiency: BEAM robots typically consume less energy than many traditional robots because they minimise the use of electronics.

- simplicity and reliability: Due to the lack of complex electronic components, BEAM robots can be more reliable and easier to maintain.

- biological inspiration: BEAM robots enable the study and reproduction of biological principles, which can lead to new insights in robotics and biology.

There are also disadvantages compared to others:

- limited functionality: Due to the limited use of electronics, BEAM robots are often limited in their ability to perform complex tasks and algorithmic computations.

- limited programmability: BEAM robots are more difficult to program and adapt to new tasks than traditional robots.

The concept of microkernels for BEAM robots is to develop small, simple mechanical components that can be combined together to create complex actions. These

micronuclei can be analogous to neurons in biological systems that process information and control movements. For example, Nv (visual neurons) can respond to changes in light conditions, and Nu (motor neurons) can be responsible for controlling movement [20]. The implementation of these micro-core systems can be based on mechanical sensors and control mechanisms rather than electronic components.

All of this research and development of BEAM robots allows for a deeper understanding of biological principles, which can lead to the development of new methods in medicine and biology. The energy efficiency of BEAM robots is useful for environmental monitoring and solving environmental problems. In addition, they can be used to educate and inspire students and researchers in the fields of robotics and biology.

Future research and development of BEAM robotics could lead to even greater advances in biology and robotics. They can be used to create more complex and adaptive systems that will use biological principles to optimize actions in an unpredictable environment.

BEAM robotics is an exciting direction in the world of robotics that combines natural inspiration with technological solutions. It can help us better understand natural processes and design more resilient and adaptive systems. And, although BEAM robots have their limitations, their capabilities and advantages already impress with their innovation and potential.

### III. CONCLUSIONS

In summary, BEAM robotics is an innovative approach that combines biological inspiration with technological solutions. Its potential still requires further research and development, but it already opens up new opportunities for creating more adaptive, efficient and environmentally sustainable robots than traditional approaches.

Since the physical world is characterised by a high degree of unpredictability, it is impossible to predict all possible random events and unforeseen circumstances that arise in such an irrational environment. Comparing BEAM robots with other classes of robots, we can highlight their advantages in terms of energy efficiency, simplicity and reliability, as well as the ability to study and reproduce biological principles. "Biological organisms" that can suffer serious damage are characterised by a higher degree of reliability. This characteristic becomes especially important when developing systems designed to detect unexploded mines and bombs.

Of course, BEAM robots have limitations, such as limited functionality and programming complexity compared to traditional robots.

The paradigm shift in understanding robots and their interaction with the real world is key to the development of robotics. Moving from the standard view of robots to accepting them as reliable and adaptive systems can bring revolutionary changes in various industries, from autonomous cars to hazardous waste disposal robots.

### REFERENCES

- [1] Development of a course based on BEAM robots to enhance STEM learning in electrical, electronic, and mechanical domains 2022, Pages 736–737.

- <https://educationaltechnologyjournal.springeropen.com/articles/10.1186/s41239-021-00311-9>
- [2] A course based on BEAM Robotics for the valorization of WEEE through the development of STEAM skills. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10102868>
- [3] Differential rearing effects on rat visual cortex synapses.: III. Neuronal and glial nuclei, boutons, dendrites, and capillaries. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S006899387914776>
- [4] Neural Reflex Networks for Automating Quadcopter Drone Obstacle Avoidance 2022, Pages 1–9. [https://bulletin.incas.ro/files/panait-m-a\\_vol\\_14\\_iss\\_2.pdf](https://bulletin.incas.ro/files/panait-m-a_vol_14_iss_2.pdf)
- [5] Shuttle-Based Storage and Retrieval System 3d Model Improvement and Development / I. Nevliudov, V. Yevsieiev, S. Maksymova, O. Klymenko, M. Vzhesniewski // V International Conference on Natural Science and Technologies (ICONAT 2023), 1st-3th June 2023. – Sunny Beach-Bulgaria. – P. 15.
- [6] Yevsieiev, V. Comparative Analysis of the Characteristics of Mobile Robots and Collaboration Robots Within INDUSTRY 5.0. / V. Yevsieiev, D. Gurin // In the VI International Scientific and Theoretical Conference, September 8, 2023. Chicago, USA. P.92-94
- [7] Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Maksymova, S., Demska, N., Kolesnyk, K., & Miliutina, O. (2022, September). Object Recognition for a Humanoid Robot Based on a Microcontroller. In 2022 IEEE XVIII International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH) PP. 61-64. DOI: 10.1109/MEMSTECH55132.2022.10002906
- [8] Attar, H., & et al.. (2022). Zoomorphic Mobile Robot Development for Vertical Movement Based on the Geometrical Family Caterpillar. Computational Intelligence and Neuroscience, 2022, Article ID 3046116, <https://doi.org/10.1155/2022/3046116>.
- [9] Невлюдов І. Ш., Андрусевич А. О., Євсєєв В. В., Новоселов С. П., Демська Н. П. Проектування мобільних маніпуляційних роботів: Монографія. – Х. :, 2022. – 427 с.
- [10] Євсєєв В.В. Проектування мобільних роботів на базі одноплатних комп'ютерів (Raspberry Pi и мови Python 3.6) // Невлюдов І. Ш., Андрусевич А. О., Євсєєв В. В. Підручник. – Харків : 2020. С. 257.
- [11] Vladyslav Yevsieiev, Nikolaj Starodubcev (2023). Development of a control algorithm for a small-sized mobile manipulation robot. Scientific Collection «InterConf», (140), P. 648-651.
- [12] Yevsieiev V. (2023) Development of a program for modeling the control of a mobile manipulation robot in the unity environment / Yevsieiev V., Starodubcev N. // Scientific Collection «InterConf», (141), P. 331-334.
- [13] A Small-Scale Manipulation Robot a Laboratory Layout Development / Yevsieiev V., Starodubcev N., Maksymova S., Stetsenko K. // International independent scientific journal, №47, 2023. P.18-28.
- [14] Yevsieiev V. Analysis of Crawler Robots / V. Yevsieiev, S. Shmatko // “Innovations Technologies in Science and Practice” : The VI International Scientific and Practical Conference, February 15-18, 2022. – Haifa, Israel, 2022. – P. 510-514.
- [15] Yevsieiev, V. , Maksymova, S. , & Starodubcev, N. . (2022). A ROBOTIC PROSTHETIC A CONTROL SYSTEM AND A STRUCTURAL DIAGRAM DEVELOPMENT. Collection of Scientific Papers «ΛΟΓΟΣ», (August 12, 2022; Zurich, Switzerland), 113–114. <https://doi.org/10.36074/logos-12.08.2022.33>
- [16] Yevsieiev V., Maksymova S., Starodubcev N. Software Implementation Concept Development for the Mobile Robot Control System on ESP-32CAM // Current issues of science, prospects and challenges: collection of scientific papers «SCIENTIA» with Proceedings of the II International Scientific and Theoretical Conference (Vol. 2), June 10, 2022. Sydney, Australia: European Scientific Platform., 2022. P. 54-56
- [17] Yevsieiev V. Development of Architecture for Mobile Robot Control Based on Raspberry Pi Model 3 B+ / V. Yevsieiev, A. Skripkin // Scientific Horizon in the Context of Social Crises : The XI International Scientific and Practical Conference, April 6-8, 2022. – Tokyo, Japan, 2022. – P. 274–277.
- [18] Yevsieiev V. Analysis of Crawler Robots / V. Yevsieiev, S. Shmatko // “Innovations Technologies in Science and Practice” : The VI International Scientific and Practical Conference, February 15-18, 2022. – Haifa, Israel, 2022. – P. 510-514.
- [19] Розробка 3D-моделі зооморфного мобільного робота для вертикальних переміщень по металевим поверхням / І. Ш. Невлюдов, В. В. Євсєєв, Н. П. Демська, В. О. Руденко // Наука і техніка сьогодні. – 2022. – № 4(4). – С.163-174.
- [20] Yevsieiev , V., Maksymova, S. , & Starodubcev, N. . (2022). DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR ESP32-CAM OPERATION IN HTTP SERVER MODE FOR STREAMING VIDEO. Collection of Scientific Papers «ΛΟΓΟΣ», (July 8, 2022; Paris, France), 177–179. <https://doi.org/10.36074/logos-08.07.2022.049>

# Selection of Sensors for Building a 3D Model of the Mobile Robot's Environment

Svitlana Maksymova<sup>1</sup>, Mykhailo Akopov<sup>1</sup>

Department of CITAR, Kharkiv National University of Radioelectronics, UKRAINE, Kharkiv, Nauki Ave. 14, email: mykhailo.akopov@nure.ua

**Abstract:** In this material, methods for constructing a depth map were analyzed, and technical devices suitable for this task were considered.

**Key words:** Mobile robot, Camera, Lidar, Stereo Camera

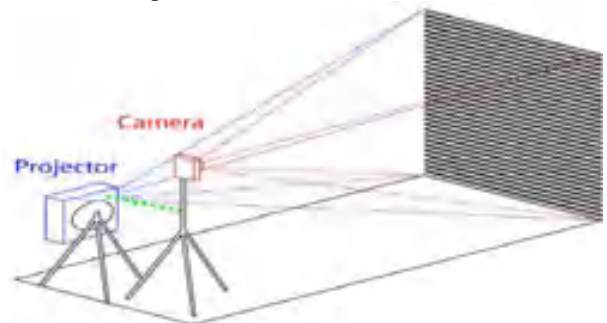
## I. INTRODUCTION

Since the invention of the first unmanned aerial vehicles in 1933 until today, drones have become a part of everyday life. From film production to military applications, UAVs are more cost-effective than their manned counterparts. Cartography remains one of the current areas for the use of unmanned aerial vehicles. In my master's thesis we will talk specifically about the software necessary to perform cartographic work using UAVs. Airplane and helicopter drones are used to carry out cartographic work. Airplane-type UAVs are used to process large area (over 20 km). Such devices are capable of photographing hundreds of hectares in 1 hour in the air. A quadcopter is suitable for exploring local areas. This difference in application is due to the specific design of the above-described types of drones. Aircraft-type drones, due to the presence of wings, have an aerodynamic lift force, which in turn arises when the air flow flows. To create an oncoming air flow, it is enough to give the structure a certain speed relative to the air masses. Thus, the main energy consumption occurs during takeoff and landing of the aircraft. These features provide this type of UAV with better autonomy. On the other hand, aircraft-type UAVs have worse maneuverability and compactness compared to helicopter-type UAVs. Helicopter-type drones most often use a design with four rotors called a quadcopter. The quadcopter body does not have aerodynamic abilities, and lift into the air is carried out by electric motors and blades installed on them. Thus, different types of UAVs may be required to perform different tasks. Regardless of the type of drone you choose, additional electronics are required for mapping. Usually, these are a camera and GPS sensors. Using a regular camera, it is possible to obtain raw data in the form of video recording or a large number of photos. Such data must be processed after the UAV returns. An alternative would be to construct a depth map. On the basis of which, in real time, it is possible to construct a map taking into account the terrain. In this work, we will consider the hardware for constructing a depth map.

## II. METHODS FOR OBTAINING A DEPTH MAP

Structured Light camera. Let's start with, perhaps, one of the simplest, oldest and relatively cheap ways to measure depth - structured light. This method appeared essentially as soon as digital cameras appeared, i.e. more

than 40 years ago and greatly simplified a little later, with the advent of digital projectors. The basic idea is extremely simple.[1-3] We place next to a projector that creates, for example, horizontal (and then vertical) stripes and next to a camera that shoots a picture with stripes, as shown in this picture 1.1

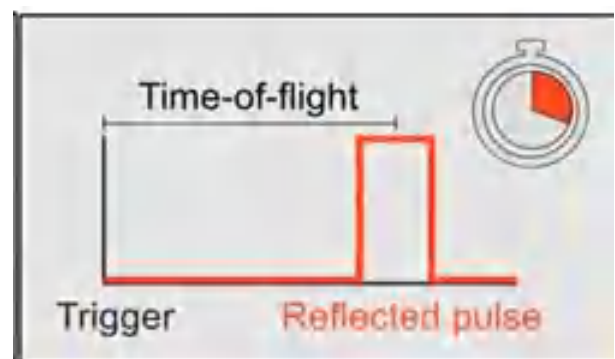


Picture 1.1 – Structured Light Camera Operating Scheme

Since the camera and projector are offset relative to each other, the stripes will also move in proportion to the distance to the object. By measuring this displacement we can calculate the distance to the object. This scheme is hardly suitable for use on UAVs since, due to sunlight, the designed grid will be illuminated and unreadable for sensors.[4-7]

### Time of Flight camera

The next way to get depth is more interesting. It is based on measuring the round-trip delay of light (ToF - Time-of-Flight). As you know, the speed of modern processors is high, but the speed of light is low. In one clock cycle of a 3 GHz processor, light can travel only 10 centimeters. Or 10 clock cycles per meter. In fact, we need to measure the delay with which light returns to each point, Picture 1.2.



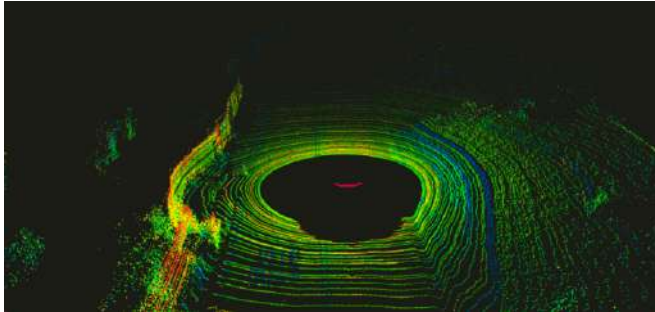
Picture 1.2 – Scheme of Operation of the Time of Flight Camera

The problems remain the same. There is a high probability of the image being exposed to bright light.

Camera based on lidar technology [8-11]



The first lidars (from LIDaR - Light Identification Detection and Ranging), built as bundles of similar devices rotating around a horizontal axis, were the first to be used by the militaries, then tested in car autopilots. They performed quite well there, which caused a powerful surge in investment in the region. Initially, the lidars rotated, giving a similar picture several times per second, Picture 1.3.

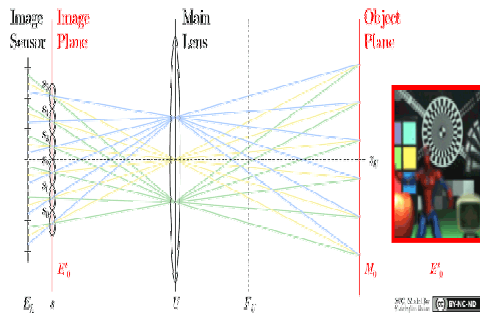


Picture 1.3 – Example of Lidar Camera Performance

The problem with these devices can be considered their relatively high cost. Putting together a compact and inexpensive device is quite problematic. In addition, bright sunlight reflected from surfaces may cause incorrect data reading.

#### Light Field depth camera

The topic of plenoptics (from the Latin plenus - complete and optikos - visual) or light fields is still relatively little known to the general public, although professionals have begun to study it extremely actively. The main idea is to try to capture not just light at each point, but a two-dimensional array of light rays, Picture 1.4, making each frame four-dimensional. In practice this is done using a microlens array

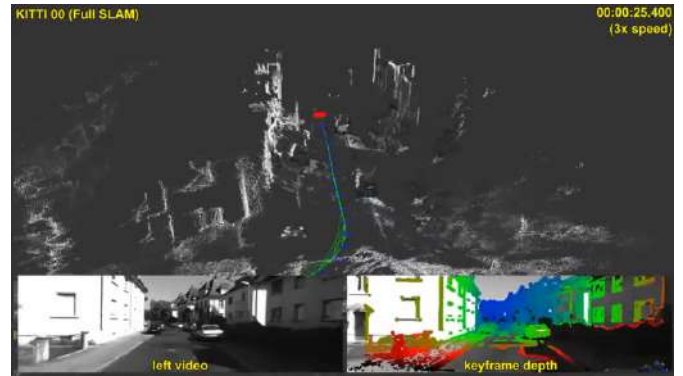


Picture 1.4 – Light Field Camera Operation Scheme

The main disadvantages of plenoptics can be considered the relatively low resolution and complexity of software implementation.

#### Depth from Stereo camera [12-14]

Of the 5 methods under consideration for constructing depth video, only two - this and the previous one (stereo and plenoptics) - do not interfere with the sun and are not interfered with by surface reflections. At the same time, plenoptics is many times more expensive and less accurate at long distances. Depth from stereo (Picture 1.4) - in terms of equipment cost - is the cheapest way to obtain depth, since cameras are now inexpensive and continue to become cheaper quickly.



Picture 1.5 – Example of Depth from Stereo Camera Operation

The difficulty is that further processing is much more resource-intensive than other methods. Despite the disadvantages discussed above, this technology was chosen as depth sensors for UAVs.

#### Waveshare IMX219-83

This stereo camera (Picture 1.5) was chosen due to its high resolution of 3280 x 2464, compactness, and the presence of additional sensors - accelerometer, gyroscope, magnetometer.



Picture 1.5 – Stereo Camera Waveshare IMX219-83

To create a stereo pair, two compatible Pi cameras would be suitable too, for example the Raspberry Pi Camera Module 3 cameras (Picture 1.6).



Figure 1.6 – Raspberry Pi Camera Module 3

But in this case, it would be necessary to synchronize the cameras, which would add extra load to the computing module. To perform the calculations,

Raspberry Pi CM4 and Carrier board were chosen for it.[15-17]

### III. CONCLUSIONS

Thus, various types of sensors that may be suitable for the implementation of a system for building a 3D model of the environment of a mobile robot were considered.

### REFERENCES

- [1] Shuttle-Based Storage and Retrieval System 3D Model Improvement and Development / I. Nevliudov, V. Yevsieiev, S. Maksymova, O. Klymenko, M. Vzheshniewski // V International Conference on Natural Science and Technologies (ICONAT 2023), 1st-3th June 2023. – Sunny Beach-Bulgaria. – P. 15.
- [2] Yevsieiev, V. Comparative Analysis of the Characteristics of Mobile Robots and Collaboration Robots Within INDUSTRY 5.0. / V. Yevsieiev, D. Gurin // In the VI International Scientific and Theoretical Conference, September 8, 2023. Chicago, USA. P.92-94
- [3] Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Maksymova, S., Demska, N., Kolesnyk, K., & Miliutina, O. (2022, September). Object Recognition for a Humanoid Robot Based on a Microcontroller. In 2022 IEEE XVIII International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH) PP. 61-64. DOI: 10.1109/MEMSTECH55132.2022.10002906
- [4] Attar, H., & et al.. (2022). Zoomorphic Mobile Robot Development for Vertical Movement Based on the Geometrical Family Caterpillar. Computational Intelligence and Neuroscience, 2022, Article ID 3046116, <https://doi.org/10.1155/2022/3046116>.
- [5] Невлюдов І. Ш., Андрусевич А. О., Євсєєв В. В., Новоселов С. П., Демська Н. П. Проектування мобільних маніпуляційних роботів: Монографія. – Х. :, 2022. – 427 с.
- [6] Євсєєв В.В. Проектування мобільних роботів на базі одноплатних комп'ютерів (Raspberry Pi и мови Python 3.6) // Невлюдов І. Ш., Андрусевич А. О., Євсєєв В. В. Підручник. – Харків : 2020. С. 257.
- [7] Vladyslav Yevsieiev, Nikolaj Starodubcev (2023). Development of a control algorithm for a small-sized mobile manipulation robot. Scientific Collection «InterConf», (140), P. 648-651.
- [8] Yevsieiev V. (2023) Development of a program for modeling the control of a mobile manipulation robot in the unity environment / Yevsieiev V., Starodubcev N. // Scientific Collection «InterConf», (141), P. 331-334.
- [9] A Small-Scale Manipulation Robot a Laboratory Layout Development / Yevsieiev V., Starodubcev N., Maksymova S., Stetsenko K. // International independent scientific journal, №47, 2023. P.18-28.
- [10] Yevsieiev V. Analysis of Crawler Robots / V. Yevsieiev, S. Shmatko // “Innovations Technologies in Science and Practice” : The VI International Scientific and Practical Conference, February 15-18, 2022. – Haifa, Israel, 2022. – P. 510-514.
- [11] Yevsieiev, V. ., Maksymova, S. ., & Starodubcev, N. . (2022). A ROBOTIC PROSTHETIC A CONTROL SYSTEM AND A STRUCTURAL DIAGRAM DEVELOPMENT. Collection of Scientific Papers «ΛΟΓΟΣ», (August 12, 2022; Zurich, Switzerland), 113–114. <https://doi.org/10.36074/logos-12.08.2022.33>
- [12] Yevsieiev V., Maksymova S., Starodubcev N. Software Implementation Concept Development for the Mobile Robot Control System on ESP-32CAM // Current issues of science, prospects and challenges: collection of scientific papers «SCIENTIA» with Proceedings of the II International Scientific and Theoretical Conference (Vol. 2), June 10, 2022. Sydney, Australia: European Scientific Platform., 2022. P. 54-56
- [13] Yevsieiev V. Development of Architecture for Mobile Robot Control Based on Raspberry Pi Model 3 B+ / V. Yevsieiev, A. Skripkin // Scientific Horizon in the Context of Social Crises : The XI International Scientific and Practical Conference, April 6-8, 2022. – Tokyo, Japan, 2022. – P. 274–277.
- [14] Yevsieiev V. Analysis of Crawler Robots / V. Yevsieiev, S. Shmatko // “Innovations Technologies in Science and Practice” : The VI International Scientific and Practical Conference, February 15-18, 2022. – Haifa, Israel, 2022. – P. 510-514.
- [15] Розробка 3D-моделі зооморфного мобільного робота для вертикальних переміщень по металевим поверхням / І. Ш. Невлюдов, В. В. Євсєєв, Н. П. Демська, В. О. Руденко // Наука і техніка сьогодні. – 2022. – № 4(4). – С.163-174.
- [16] Yevsieiev , V., Maksymova, S. ., & Starodubcev, N. . (2022). DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR ESP32-CAM OPERATION IN HTTP SERVER MODE FOR STREAMING VIDEO. Collection of Scientific Papers «ΛΟΓΟΣ», (July 8, 2022; Paris, France), 177–179. <https://doi.org/10.36074/logos-08.07.2022.049>
- [17] Attar, H., & et al.. (2022). Control System Development and Implementation of a CNC Laser Engraver for Environmental Use with Remote Imaging. Computational Intelligence and Neuroscience, 2022, Article ID 9140156, <https://doi.org/10.1155/2022/9140156>.

# Завдання автоматичного керування рухом мобільної платформи з застосуванням законів автоматички

Сергій Новоселов, Єгор Волков

Кафедра КІТАР, Харківській національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА, Харків, пр. Науки 14, email: yehor.volkov@nure.ua

**Анотація:** В роботі розібрано основні завдання автономного пересування роботів, розглянуто оптимізація швидкості руху на заданих маршрутах, описана САК та описано ПД-регулятор.

**Ключові слова:** ПД-регулятор, закони автоматички, керування рухом, робототехніка.

## I. ВСТУП

На даний момент тема автоматичного керування є дуже актуальною, так як все більше і більше в різних галузях починають використовуватися роботи, від стандартних роботів маніпуляторів до цілих підприємств, які повністю управляються та функціонують за рахунок різноманітних роботів, а для їхнього руху потрібно розробити певну послідовність дій.

Усі роботи рухаються по заданим координатам, які мають бути дуже точно прокладені. Адже якщо маніпулятор відхилиться від заданого маршруту на один градус, він вже опиниться в абсолютно не тому місці, в якому мав опинитися і це спричинить багато наслідків, найкритичніше з усіх буде брак.

Автоматичні машини не змогли б правильно функціонувати без налагодженої системи автоматичного пересування та керування, адже будь-яка помилка в їхньому шляху чи позиціонуванні координат призведе до тотальної дезорієнтації платформи.

## II. СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ (САК)

Автоматична система керування – це сукупність керованого об'єкта й автоматичних вимірювальних та керуючих пристроїв.

На основі автоматизованої системи управління ця система самодіюча і реалізує встановлені функції процесу автоматично, без участі людини (крім етапів запуску та налагодження системи). На практиці часто користуються терміном-аналогом системи автоматичного керування (САК).

Автоматичним регулюванням використовуємо підтримку на заданому рівні певної фізичної (хімічної) величини, що характеризує процес, або змінює її згідно із заданим законом.

Автоматичне керування – ширше поняття, в цьому випадку створюється повна кількість впливів на процес, вибраних з певної кількості можливих.

Автоматичні системи керування можна класифікувати за швидкими ознаками:

- інформативним принципом;
- кількість керованих параметрів і контурів;

- виглядом статичних і динамічних характеристик;
- структурними особливостями тощо.

Одним із розширених принципів класифікації автоматизованих систем керування на сьогодні при бурхливому розвитку інформаційних технологій є інформативний, на основі якого лежать особливості здобуття та використання інформації, відповідно до цього принципу виділяють систему: з повною і з неповною початковою інформацією. Перші відповідно звичайними, вони мають початкову інформацію, достатню для розв'язання поставленого завдання на період усього часу роботи системи. З неповною початковою інформацією або кібернетичними є системи, які для розв'язання поставлених завдань повинні в процесі роботи отримати додаткову інформацію, аналіз якої дає змогу сформуванню необхідні команди керування. Системи водопостачання та водовідведення як об'єкти автоматизації від цих до звичайних систем з повною початковою інформацією. Їх можна розділити на дві характерні групи, що відрізняються як принципом керування, так і особливостями функціонування. Перша – це замкнуті автоматичні системи керування відносно вихідної (керованої) величини, що діють на основі принципу керування за відхиленням керованої величини, їх буде використовуватися системами із зворотним зв'язком. Друга – розімкнуті автоматичні системи керування окремою величиною, що базуються на принципі керування за збуренням.

Одним з параметрів САК можна виділити автоматичку у параметрах руху. Закони автоматички відіграють важливу роль у регулюванні параметрів руху в різних системах. Вони використовуються для створення автоматичних керуючих систем, які здатні підтримувати або регулювати різні параметри руху, такі як швидкість, положення, кут, траєкторія та інші.

Розглянемо які існують завдання автономного пересування.

## III. ЗАВДАННЯ АВТОНОМНОГО ПЕРЕСУВАННЯ

Їх існує дуже багато, деякі з них приведено і описано нижче:

Навігація – однією з основних завдань є розробка ефективних алгоритмів навігації, які дозволяють переміщатися по заданій території, уникаючи перешкод і безпечно досягаючи цілей. Це включає в себе розробку алгоритмів виявлення перешкод, маршрутизації та планування руху.

Далі можна виділити датчики та сприйняття. Для успішної навігації, роботу потрібно бути обладнаним

різними датчиками, такими як лідари, камери, ультразвукові датчики та інерціальні вимірювачі, щоб надійно сприймати оточуюче середовище та стан самої платформи.

Навчання з підкріпленням – застосування методів машинного навчання, таких як навчання з підкріпленням, для поліпшення управління мобільною платформою. Це дозволяє машині вчитися на основі досвіду та вдосконалювати свої дії відповідно до поставлених цілей.

Також до завдань автономного пересування відноситься стійкість до змінних умов. Роботи можуть стикатися з різними умовами, такими як зміни погоди, освітлення та стан дороги. Вирішення проблеми включає в себе створення систем, здатних адаптуватися до змінних умов та зберігати стабільність в русі.

Ще можемо виділити такий параметр як безпека. Забезпечення безпеки під час руху мобільної платформи є пріоритетною задачею. Це включає в себе розробку систем запобігання зіткненням і безпечного гальмування, а також механізмів виявлення людей та інших об'єктів.

Останнім параметром який треба виділити є ефективність. Максимізація ефективності руху платформи, зменшення часу в дорозі та оптимізація споживання енергії також є важливими аспектами проблеми.

Вирішення цих завдань потребує дуже чіткого підходу, включаючи розробку апаратних та програмних компонентів, а також поєднання технологій штучного інтелекту та робототехніки.

Розглянемо як застосовувати закони автоматички для регулювання швидкості.

#### IV. РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ

За допомогою законів автоматички можна створити системи управління, які підтримують задану швидкість руху. Прикладом цього буде адаптивний круїз-контроль у машинах. Розглянемо як він влаштований та працює.

Адаптивний круїз-контроль - це покращена система круїз-контролю, яка не тільки автоматично підтримує швидкість руху, але і дотримується безпечної дистанції до автомобіля, що йде попереду, адаптуючись під поточну ситуацію на дорозі.

На відміну від неактивної системи, яка лише підтримує задану швидкість руху, система адаптивного круїз-контролю:

- прискорює автомобіль до заданого значення;
- уповільнює його, аж до повної зупинки;
- утримує задану швидкість, забезпечуючи не тільки комфорт у тривалих поїздках, а й значно на 10% і більше скорочуючи витрату палива.

Сама система складається з трьох вузлів.

По-перше, це фронтальні датчики, розташовані в передньому бампері, рідше – за фальш решіткою радіатора. Це – «очі» круїз-контролю, тому мають бути чистими від бруду та снігу, інакше ефективність системи прагнути до нуля.

По-друге, це додаткові датчики, що відстежують, чи йде автомобіль по прямій, в гірку або з неї, на який

кут відхилене рульове колесо, що контролюють включену в КПП передачу, навіть інформацію з дорожньої розмітки та придорожніх знаків.

По-третє, це електронний блок управління адаптивного круїз-контролю. Від нього залежить як якість функціонування, та й робота взагалі. Він аналізує інформацію, що надходить, даючи команди:

- системі подачі палива змінити кут нахилу дросельної заслінки;
- гальмівному контуру збільшити або навпаки послабити силу притискання гальмівних колодок до дисків.

Принцип роботи адаптивного круїз-контролю:

- збирається вся інформація з основних та другорядних датчиків;
- блок управління у режимі реального часу безперервно її аналізує;
- залежно від заданої водієм швидкості та ситуації на дорозі – порожня, пряма траса або, навпаки, авто, що йде попереду, пригальмовує/перебудовується, дає команду на прискорення або, навпаки, уповільнення. При цьому система керування може гальмувати двигуном або зменшувати його потужність шляхом короткочасного збіднення повітряно-паливної суміші.

Також регулювання швидкості, тісно пов'язане з проходженням траєкторії руху мобільної платформи. Вона дозволить точніше слідувати побудованому маршруту, що підвищить оптимізацію нашого руху.

Роботи і автономні транспортні засоби використовують закони автоматички для слідування заздалегідь визначеним траєкторіям. Це може включати в себе коригування траєкторії на основі зворотного зв'язку від датчиків і камер. Розглянемо використання ПД-регулятора для відстеження траєкторії роботом, але перед цим розберемося як він працює, а також де він може застосовуватися.

#### V. ПД-РЕГУЛЯТОР

Пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПД) регулятор – пристрій в керуємому контурі зі зворотним зв'язком. Використовується в системах автоматичного управління для формування сигналу керуючого з метою отримання необхідних точності і якості перехідного процесу. ПД-регулятор формує керуючий сигнал, що є сумою трьох доданків, перший з яких є пропорційним різниці вхідного сигналу і сигналу зворотного зв'язку (сигнал неузгодженості), друге - інтегралу сигналу неузгодженості, третє - похідної сигналу неузгодженості.

ПД регулятор – один із найпоширеніших автоматичних регуляторів. Він настільки універсальний, що застосовується практично скрізь, де потрібне автоматичне керування.

ПД регулятор складається з трьох складових (рисунком 1): пропорційної Р, що інтегрує І і диференціює D, формується просто як сума трьох значень, помножених кожна на свій коефіцієнт. Ця сума після обчислень стає керуючим сигналом, який подається на керуючий пристрій.

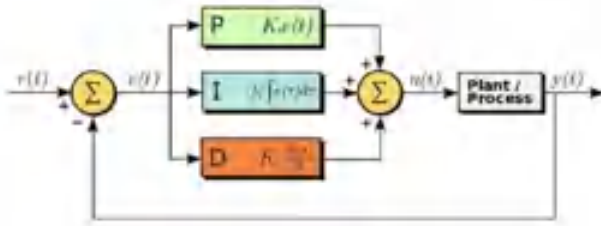


Рис. 1. Схема принципу роботи ПІД-регулятора

$K_P$ ,  $K_I$  і  $K_D$  це і є ті коефіцієнти, які потрібно налаштувати для роботи ПІД-регулятора. Значення тут можуть бути різні, це залежить від конкретної системи. Будь-який коефіцієнт може дорівнювати нулю, і в такому випадку анулюється вся його компонента. Тобто регулятор можна перетворити на П, І, Д, та інші поєднання. Різні системи вимагають різного підходу, саме тому ПІД-регулятор такий універсальний.

Пропорційна складова є різницею поточного значення з датчика та установки. Ця різниця називається помилкою регулювання, тобто як далеко знаходиться система від заданого значення. Виходить чим більше помилка, тим більше буде керуючий сигнал і тим швидше система наводитиме керувану величину до заданого значення. П складова є основною в ПІД-регуляторі, регулятор може непогано працювати тільки на ній одній. Р складова виправляє помилку в даний час.

Інтегральна складова просто підсумовує в саму себе ту саму помилку, різницю поточного і заданого значення, помножену на період дискретизації системи, тобто на час, що минув з попереднього розрахунку  $dt$  - фактично бере інтеграл від помилки за часом. У самому регуляторі це ще множиться на коефіцієнт  $K_I$ , яким налаштовується різкість цієї складової. В інтегральній складовій буквально накопичується помилка, що дозволяє регулятору з часом повністю її усунути, тобто привести систему до заданого значення з максимальною точністю. І складова виправляє минулі помилки, що накопичилися.

Диференціальна складова являє собою різницю поточної та попередньої помилки, поділену на час між вимірюваннями, тобто на ту ж  $dt$ , яка має загальний період регулятора. Іншими словами – це похідна від помилки за часом. Фактично Д складова реагує на зміну сигналу з датчика, і чим сильніше відбувається ця зміна, тим більше значення додається до загальної суми. Д дозволяє компенсувати різкі зміни в системі і при правильному налаштуванні запобігти сильному перерегулюванню та зменшити розгойдування. Коефіцієнт Д дозволяє налаштувати вагу, чи різкість даної компенсації, як та інші коефіцієнти регулюють свої складові. Д складова в першу чергу потрібна для швидких систем, тобто для систем із різкими змінами. Д складова виправляє можливі майбутні помилки, аналізуючи швидкість.

Для налаштування регулятора потрібно варіювати коефіцієнти:

– при збільшенні  $K_P$  збільшується швидкість виходу на встановлене значення, збільшується

сигнал, що управляє. Чисто математично система не може прийти рівно до заданого значення, так як при наближенні до установки П складник пропорційно зменшується. При подальшому збільшенні  $K_P$  реальна система втрачає стійкість та починаються коливання.

– при збільшенні  $K_I$  зростає швидкість компенсації помилки, що накопичилася, що дозволяє вивести систему точно до заданого значення з плином часу. Якщо система повільна, а  $K_I$  занадто великий - інтегральна сума сильно зростає і відбудеться перерегулювання, яке може мати характер коливань, що не затухають, з великим періодом. Тому інтегральну суму в алгоритмі регулятора часто обмежують, щоб вона не могла збільшуватися та зменшуватися до нескінченності.

– при збільшенні  $K_D$  зростає стабільність системи, вона дає системі змінюватися дуже швидко. У той же час  $K_D$  може стати причиною неадекватної поведінки системи та постійних стрибків сигналу керуючого, якщо значення з датчика вагається. На кожен різку зміну сигналу датчика Д складова буде реагувати зміною керуючого сигналу, тому сигнал з датчика потрібно фільтрувати.

## VI ЗАСТОСУВАННЯ ПІД-РЕГУЛЯТОРУ У РОБОТОТЕХНІЦІ

ПІД – це алгоритм керування, який знаходиться в електричному приводі та секції керування мобільної платформи. Для автоматичної навігації та управління зазвичай існує три контури керування: крутний момент, швидкість і положення. Як правило, привід керуватиме контуром крутного моменту, а «контролер» керує швидкістю та положенням.

Погане налаштування може мати низку шкідливих наслідків для програми рухомої платформи, найочевиднішим з яких є те, що система не стабільна чи точна. Погано налаштована система може задавати невірний маршрут і невірно регулювати швидкість руху автоматизованого роботу. Окрім неточності, погане налаштування може призвести до поломки машини, а також до перегріву та пошкодження двигунів і приводів.

Справлятися з мінливими навантаженнями є дуже складним завданням для мобільної платформи. Правильне налаштування важливе, але в екстремальній ситуації може знадобитися динамічна налаштування, щоб впоратися з цією проблемою.

## VII. ВИСНОВКИ

В даному матеріалі були висвітлені завдання, що виникають при автоматичному управлінні рухом автоматичної платформ, описано САК та її ознаки, розглянуто ПІД-регулятор та як він працює, а також його застосування у робототехніці.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] AplusTopper [Електронний ресурс]: Automation Advantages And Disadvantages | What are The Top Advantages and Disadvantages of Automation? – Режим доступу:

- <https://www.aplustopper.com/automation-advantages-and-disadvantages/>
- [2] В.О. Клебан, В.Г. Парфьонов, А.А. Шалито,  
«ПОБУДУВАННЯ СИСТЕМИ  
АВТОМАТИЧНОГО  
УПРАВЛІННЯ МОБІЛЬНИМ РОБОТОМ НА  
ОСНОВІ АВТОМАТНОГО ПІДХОДУ», Жовтень  
2017.
- [3] Crenganis, M., Bologa, O., Developing a mobile  
platform for EUROBOT 2015, Buletinul AGIR.  
Supliment, Vol. 1, pp. 230-235, 2015.
- [4] Tan, K. K., Wang, Q. G., Hang, C. C., Advances in  
PID control, Springer Science & Business Media,  
(2012).

# Сучасний промисловий інтернет речей та хмарні технології

Сергій Новоселов, Ігор Гладков

Кафедра КІТАР, Харківській національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА, Харків, пр. Науки 14, email: [ihor.hladkov@nure.ua](mailto:ihor.hladkov@nure.ua)

**Анотація:** В даній статті ми розібрали принцип роботи IoT на підприємстві та методи застосування хмарних обчислень, а також показали переваги і недоліки їх застосування та методи їх виправлення.

**Ключові слова:** IoT, хмарні технології, системи захисту.

## ВСТУП

Прямо зараз IoT представляє особливий інтерес для виробничої, промислової та транспортної галузей. Проекти IoT можуть надати виробникам краще уявлення про те, як працюють їх виробничі лінії, та зробити точніші прогнози стосовно того, коли конкретним машинам буде потрібне обслуговування, що скоротить непередбачувані простой.

Промислові підприємства можуть використовувати IoT, щоб скоротити видатки на відправку персоналу для перевірки віддаленого обладнання, зробивши його самоконтрольованим. Роздрібні торговці можуть зрозуміти, де в їх ланцюжку постачання знаходяться "вузькі місця", а транспортні компанії можуть краще зрозуміти продуктивність власного автопарку. Але це не єдині зацікавлені сектори: охорона здоров'я та уряд також, ймовірно, стануть яскравими прибічниками IoT. Хоча зараз він в основному досліджується великими організаціями, але згодом може отримати більш широке розповсюдження зі зниженням цін на обладнання та послуги.

Промисловий Інтернет Речей чи IoT, працює з мільярдами промислових пристроїв – від машин на заводі до двигунів в літаках – які заповнені датчиками, підключені до бездротових мереж, а також збирають та обмінюються даними. Поява мініатюрних недорогих датчиків та ширококутних бездротових мереж тепер означає, що навіть найменші пристрої можуть бути підключені до мережі, враховуючи рівень цифрового інтелекту, який дозволяє відстежувати та контролювати їх, а також обмінюватись даними про їх стан та спілкуватись із іншими пристроями. Всі ці дані можуть збиратись та аналізуватись для підвищення ефективності бізнес-процесів.

## I. ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Пристрої і об'єкти з вбудованими датчиками підключені до платформи Industrial Internet of Things, яка інтегрує дані з різних пристроїв і застосовує аналітику для обміну найбільш цінною інформацією з додатками, створеними для задоволення конкретних потреб. Потужні платформи IoT можуть точно визначити, яка інформація корисна, а яку

можна безпечно ігнорувати. Отримана інформація може використовуватись для виявлення шаблонів, вироблення рекомендацій та виявлення можливих проблем до їх виникнення.

Використання технології інтернету речей дозволяє:

- використовувати датчики, щоб визначити, які області в демонстраційному залі найбільш популярні, а де клієнти найдовше затримуються;
- деталізувати доступні дані про продажі, щоб визначити, які компоненти продаються швидше за все;
- автоматично зіставляти дані про продажі з поставками, щоб популярні товари не з'являлися на складі;
- інформація, отримана з підключених пристроїв, дозволяє приймати правильні рішення про те, якими компонентами слід запастися, базуючись на інформації в реальному часі, що допомагає заощадити час і гроші.

Завдяки передовій аналітиці з'являється можливість зробити процеси більш ефективними. Розумні об'єкти і системи означають, що ви можете автоматизувати певні завдання, особливо коли вони повторюються, звичайні, вимагають багато часу або навіть небезпечні.

## III. ОПИС РОБОТИ «INDUSTRIAL INTERNET OF THINGS»

На першому етапі впровадження IoT на промислове обладнання встановлюють датчики, виконавчі механізми, контролери та людино-машинні інтерфейси. В результаті стає можливим збір інформації, яка дозволяє керівництву отримувати об'єктивні і точні дані про стан виробництва. Оброблені дані надаються всім підрозділам підприємства. Це допомагає налагодити взаємодію між співробітниками різних підрозділів і приймати обґрунтовані рішення.

Отримана інформація може бути використана для запобігання позаплановим простоям, поламкам устаткування, скороченню позапланового техобслуговування та збоєм в управлінні ланцюжками поставок, тим самим дозволяючи підприємству функціонувати більш ефективно.

При обробці величезного масиву неструктурованих даних, що надходять з датчиків, їх фільтрація і адекватна інтерпретація стає пріоритетним завданням. Тому особливою значення набуває представлення інформації в зрозумілому користувачеві вигляді. Для цього використовуються передові аналітичні платформи, призначені для збору, зберігання і аналізу даних про технологічні

процеси і події, що відбуваються в реальному масштабі часу.

Промисловий Інтернет Речей дозволяє створювати виробництва, які виявляються більш ощадливими, гнучкими і ефективними, ніж існуючі. Бездротові пристрої з підтримкою протоколу IP, включаючи смартфони, планшети і датчики, вже активно використовуються на виробництві. Наявні дротові мережі датчиків в найближчі роки будуть розширені і доповнені бездротовими мережами, завдяки чому на підприємствах суттєво розширяться зони застосування систем моніторингу та управління. Наступний етап оптимізації виробничих процесів буде характеризуватися все більш щільною конвергенцією кращих інформаційних і операційних технологій.

По мірі становлення цифрових екосистем виробничі підприємства з ізольованих систем, які самостійно виконують всі необхідні для виробництва продукції, виробничі та бізнес-процеси, будуть перетворюватися у відкриті системи, що поєднують різних учасників ринку, а також управляти засобами виробництва в цих системах буде не персонал, а хмарні сервіси. Кінцева мета всіх цих трансформацій — не випуск продукції, а надання послуг споживачеві.

В наш час основою роботи будь-якого промислового підприємства є автоматизовані пристрої. Щодня вони виготовляють велику кількість необхідних для побуту людини елементів життєдіяльності, а також створюють пристрої для полегшення в роботі. Для роботи великої кількості таких автоматизованих пристроїв необхідно мати габаритну мережу та базу даних, які можуть зберігати в собі всю інформацію промислового підприємства з виготовлення, контролю за безпекою будь-якого об'єкту, обміну інформацією тощо. Безумовно є велика кількість промислових підприємств, які просто не можуть існувати без втручання людини, але ці об'єкти представляють собою особливу значимість в суспільстві та в основному несуть відповідальність за усі можливі види безпеки. Проте можна сказати, що навіть на таких об'єктах існують такі моменти, де ми можемо реалізувати автоматизовану роботу. Щоб зупинити зайву роботу та надати можливість підприємству сконцентруватися на більш важливих справах промислової діяльності в наші дні була створена та продовжує свій розвиток така система, як «Industrial Internet of Things», або якщо казати коротшу версію то «IIoT».

### IIoT ТА ХМАРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Хмарні обчислення, а також IIoT працюють над підвищенням ефективності повсякденних завдань, і обидві мають взаємодоповнюючі відносини. З одного боку, IIoT генерує багато даних, а з іншого боку, хмарні обчислення прокладають шлях для цих даних. Багато хмарні провайдери використовують це для надання моделі оплати в міру використання, коли клієнти платять за конкретні використовувані ресурси. Крім того, хмарний хостинг як послуга

додає цінність для IIoT-стартапів, забезпечуючи економію за рахунок масштабу для зниження загальної структури витрат. На додаток до цього хмарні обчислення також забезпечують кращу спільну роботу для розробників, що є звичайним явищем в просторі IIoT. Завдяки тому, що розробники можуть зберігати і отримувати доступ до даних віддалено, хмара дозволяє розробникам без затримок реалізовувати проекти. Крім того, зберігаючи дані в хмарі, компанії IIoT можуть отримати доступ до величезної кількості великих даних. На рисунку 1 можна побачити взаємозв'язок між IIoT та хмарою.

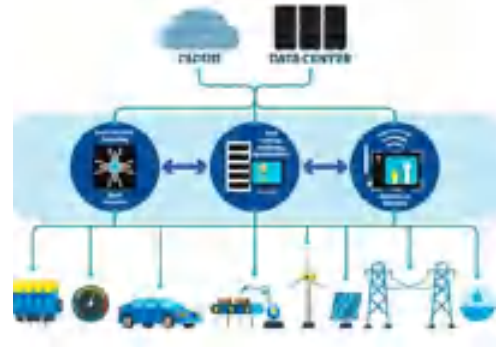


Рис. 1. Взаємозв'язок між IIoT з хмарою

Хмарні обчислення засновані на принципах швидкості і масштабування, в свою чергу, додатки IIoT побудовані на принципі мобільності і широко поширених мереж. Отже, дуже важливо, щоб як хмара, так і IIoT формували хмарні додатки IIoT, прагнучі максимально використовувати їх комбінацію.

Перелік причин, чому хмара важливо з точки зору успіху IIoT:

- забезпечує віддалену обчислювальну потужність;
- забезпечує безпеку і конфіденційність;
- полегшує зв'язок між пристроями.

Але існують труднощі в спільному використанні хмарних технологій та інтернету речей:

- обробка великої кількості даних;
- мережеві і комунікаційні протоколи;
- сенсорні мережі.

Хмарна технологія має багато переваг, але вона також має свої недоліки і обмеження:

- залежність від підключення до Інтернету. Це означає, що без стабільного підключення до Інтернету користувачі не зможуть отримати доступ до своїх даних або послуг. Це може спричинити проблеми у віддалених або відключених регіонах;

- зберігання конфіденційних даних у хмарі може становити загрозу безпеці та конфіденційності. Хоча хмарні провайдери докладають значних зусиль для захисту даних, існують ризики витоку інформації через кібератаки або недбале обслуговування;

- обчислення спочатку можуть здатися економічними, але з часом витрати можуть збільшитися. Підписка на послуги хмарних обчислень може стати значно дорожчою, ніж володіння обладнанням або локальними рішеннями, особливо для великих корпорацій.



- у деяких випадках, особливо в регіонах з обмеженим доступом до мережі, може бути важко отримати швидкий доступ до хмарних ресурсів. Це може обмежити використання хмарних служб.

- потенційна втрата контролю;

- деякі хмарні служби можуть обмежувати можливості налаштування та адаптації середовища до конкретних потреб компанії. Це може призвести до того, що користувачам доведеться адаптувати свої процеси до функціональних обмежень хмарних платформ.

- деякі завдання, особливо ті, що вимагають обробки великих обсягів даних у реальному часі, можуть бути менш ефективними в хмарному середовищі через затримки в передачі даних на центральні сервери та з них.

- постачальники хмарних послуг можуть мати проблеми з доступністю своїх послуг через технічні або інфраструктурні проблеми. Це може призвести до недоступності даних і перешкодити нормальному функціонуванню підприємства.

- зберігання даних у хмарі може викликати проблеми із захистом даних і конфіденційністю, особливо в контексті міжнародних норм.

## V. ЗАХИСТ ДАНИХ

Firewall (міжмеревий екран або мережевий екран) - комплекс апаратних чи програмних засобів, що здійснює контроль і фільтрацію мережевих пакетів, які проходять через нього, відповідно до заданих правил. Основним завданням мережевого екрану є захист комп'ютерних мереж або окремих вузлів від несанкціонованого доступу. Також мережеві екрани часто називають фільтрами, так як їх основне завдання - не пропускати (фільтрувати) пакети, що не підходять під критерії, визначені в конфігурації. Принцип роботи Firewall зображено на рисунку 2.



Рис.2 Принцип роботи Firewall

NAS (Network Attached Storage) - це пристрій або серверне програмне забезпечення для зберігання та обміну даними в локальній мережі або через Інтернет. NAS дозволяє користувачам централізовано зберігати файли, документи, мультимедійні контенти та інші дані, ділитися ними з іншими пристроями та користувачами мережі, а також забезпечує доступ до цих даних з різних пристроїв, таких як комп'ютери, ноутбуки, смартфони та планшети. Переваги NAS включають зручність централізованого зберігання даних, автоматичні резервні копії, доступ з будь-якої точки мережі, можливість створення спільних

мережевих папок для спільної роботи і багато інших функцій. NAS-системи можуть бути налаштовані з різними рівнями продуктивності та масштабованості залежно від потреб користувачів та організацій. Приклад Network Attached Storage можна побачити на рисунку 3.



Рис.3 Network Attached Storage

## VI. ВИСНОВКИ

В даній статті ми розглянули принцип роботи Промислового Інтернету речей, навели приклади використання та розібрали переваги використання даної технології. Також ми розібрали Промисловий Інтернет речей з використанням хмарних технологій та пояснили, чому саме ця технологія є необхідною для працездатності системи, також розглянули принципи захисту інформації на базі використання Firewall та Network Attached Storage.

### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] IT enterprise [Електронний ресурс]: What Is CloudComputing? Azure Cloud Computing Services – Режим доступу: <https://www.it.ua/knowledgebase/technology-innovation/cloud-solutions>
- [2] Проксис [Електронний ресурс]: Що ж таке IoT? – Режим доступу: <https://www.proxis.ua/uk/show-article/417/>
- [3] Amazon [Електронний ресурс]: Що таке NAS? – Режим доступу: <https://aws.amazon.com/ru/what-is/nas/>
- [4] ІТС [Електронний ресурс]: Що таке Firewall? – Режим доступу: [https://itc.ua/articles/chto\\_takoe\\_firewall/](https://itc.ua/articles/chto_takoe_firewall/)
- [5] WHOER [Електронний ресурс]: Шифрування СС – Режим доступу: <https://whoer.net/blog/ru/shifrovanie-oblachnyh-dannyx/>
- [6] Jetstor [Електронний ресурс]: Scale-out NAS – Режим доступу: <https://www.acnc.com/blog/nas-storage/scale-out-nas-makes-affordable-nas-also-scalable/>

# Вирішення задачі зворотної кінематики для рухливих кінцівок робототехнічної платформи

Дмитро Гурін<sup>1</sup>

1. Кафедра КПАМ, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА,  
Харків, пр. Науки. 14., email: dmyrto.gurin@nure.ua

**Анотація:** В даному матеріалі наведено вирішення задачі зворотної кінематики для рухомої кінцівки робототехнічної платформи

**Ключові слова:** зворотня кінематика, робототехніка, FreeCAD.

## Вступ

Дослідження в галузі робототехніки є одним із перспективних напрямків у розробці мобільних роботів, що спрямовані на вчасне та вдале здійснення пошукових операцій у різних потенційно небезпечних та несприятливих для людей умовах, таких як гетерогенні катастрофи, природні катастрофи, інциденти локального чи індивідуального масштабу тощо. В даний час різко зростає кількість роботів, розроблених із метою пошуку постраждалих від природних та штучних катастроф. В основному такі засновані на необхідності подолання таких перешкод, для яких рятувальники, пошукові тварини та літаючі дрони були б менш ефективними. Дуже часто такі роботи мають за основу способи руху як від живих істот, так і від вже створеними у минулому механізмів.

Провідні робототехнічні компанії та розробники університеті Карнегі-Меллон iRobot, Boston Dynamics, Pliant Energy Systems, Hydranalix, VideoRay; та їх моделі PackBot, Snakebot, Atlas, Velox, EMILY, Mission Specialist тощо, займаються відповідними дослідженнями в цієї галузі та виробляють моделі роботів для пошукових робіт, що наразі використовуються як і по призначенню, так і для аналізу та прототипування подальших робототехнічних проектів..

## Корегування платформи за рахунок зворотної кінематики

Щоб полегшити користувачам переміщення кінцевого елемента кінцівок робота в певні положення, потрібен метод зворотного кінематичного руху. У цьому методі використовуються вхідні координати позиції у формі  $X$ ,  $Y$  і  $Z$ . Вихідні дані зворотної кінематики – це кут, який утворився на з'єднанні.

На рисунках 1 та 2 (де інструментами FreeCAD для розрахунків зворотної кінематики виміряні початкові значення, що занесені у таблицю 1) чотириногий робот має по 3 суглоби на кожній нозі. Кут є утворений суглобом, тобто маються кут тазу ( $A_0$ ), кут стегна ( $A_1$ ), кут гомілки ( $A_2$ ).

У самому кодї керування значення цих кутів перетворюються на значення ШІМ для переміщення сервоприводу через драйвер серводвигунів.

Зворотні кінематичні функції, за якими будуть вестись розрахунки вимагають введення осей координат  $X$ ,  $Y$  та  $Z$  у такому виді: вісь  $X$  представляють рухи робота вперед і назад, вісь  $Y$  означає рухи робота праворуч і ліворуч, вісь  $Z$  означає рухи робота вгору та вниз.



Рис.1. Вид збоку на площину, що спільна для суглобів стегна та гомілки ноги робота, які регулюють нахили платформи

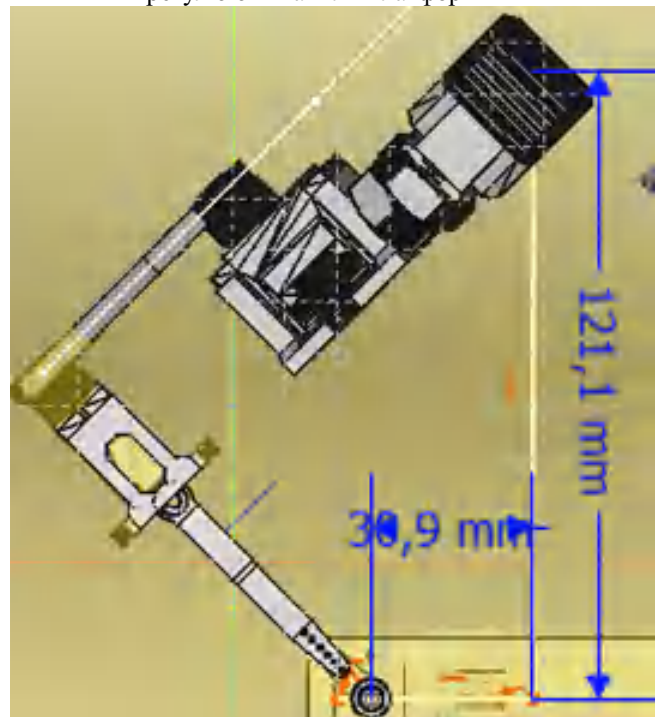


Рис.2. Вид знизу на одну з кінцівок робота

Початкові значення, отримані за допомогою програмного забезпечення FreeCAD наведені у таблиці 1.

Таблиця 1. Початкові значення, виміряні у FreeCAD

Специфікація	Позначення	Значення
Довжина першої ланки ноги	$L_0$	91 мм
Довжина другої ланки ноги	$L_1$	67,7 мм
Довжина третьої ланки ноги	$L_2$	59,2 мм
Перший катет прямокутного трикутника з гіпотенузою від точку суглобу $A_0$ до точки краю ступені при вертикальному виді	X	30,9 мм
Другий катет прямокутного трикутника з гіпотенузою від точку суглобу $A_0$ до точки краю ступені при вертикальному виді	Y	121,1 мм
Нахил другого суглобу за замовчуванням	$A_1$	45°
Нахил третього суглобу за замовчуванням	$A_2$	25°

Спочатку розміщуються значення координат X, Y і Z. Щоб отримати всі три кути на стик, він використовує підхід алгебри та геометрії. Перший розрахунок полягає в тому, щоб знайти значення кута тазу ( $A_0$ ):

$$A_0 = \arctan\left(\frac{Y}{X}\right) = 75^{\circ} \quad (1)$$

Далі знаходяться значення результуючої величини X і Y за допомогою рівняння:

$$\overline{XY} = \sqrt{X^2 + Y^2} \quad (2)$$

У розрахунках використовується зсув  $L_0$  – відстань від тазоподібного суглоба до стегнового суглоба, тобто довжина першої ланки ноги.

У наступних розрахунках знаходяться значення R і Z, що необхідні для рівнянь для знаходження поновлених значень кутів  $A_1$  і  $A_2$  у балансувально-стабілізуючих поправках:

$$Z = L_1 \cdot \sin(A_1) + L_2 \cdot \sin(A_1 + A_2) \quad (3)$$

$$R = \overline{XY} - L_0 \quad (4)$$

Також R можна знайти рівнянням:

$$R = L_1 \cdot \cos(A_1) + L_2 \cdot \cos(A_1 + A_2) \quad (5)$$

Відповідно спрощень розрахунків з джерела [4], для впровадженнь корегувань, кути стегна та гомілки розраховуються такими формулами:

$$A_1 = \arctan\left(\frac{Z}{R}\right) - \arctan\left(\frac{L_2 \cdot \sin(A_2)}{L_1 + (L_2 \cdot \cos(A_2))}\right) \quad (6)$$

$$A_2 = \arccos\left(\frac{R^2 + Z^2 - L_1^2 - L_2^2}{2 \cdot L_1 L_2}\right) \quad (7)$$

Для впровадження формул розрахунків в код управління роботом, необхідно розробити й прикладну частину застосування розрахунків.

На рисунку 3 представлено спрощене відтворення системи балансування завдяки блок-системі у MATLAB SIMULINK.

Віртуальна блок-система включає в собі:

- сіносоїдально-шумовий генератор значень екстремальних нахилів від гіроскопу по вісях X та Z кожне, орієнтовно від  $(-55)^{\circ}$  до  $55^{\circ}$ ;
- експоненціальні фільтри для видалення шумів з сигналів, що надходять на складання з цільовими нульовими значеннями нахилів для подальшої перевірки;
- блок алгоритму обирання дій стабілізації відносно поточних нахилів;
- блоки обирання початкових значень градусів кутів корегування відносно команд з алгоритму стабілізації;
- ПІД-регулятори, що налаштовані під систему та надають значення градусів кутів корегування на обмежувач значень від  $(-60)^{\circ}$  до  $60^{\circ}$ , які потім надають значення корегування на сумачію по потоку даних нахилів, що перевіряються;
- дисплеї значень початкових нахилів впливу, нахилів корегувань та нахилів-результатів.

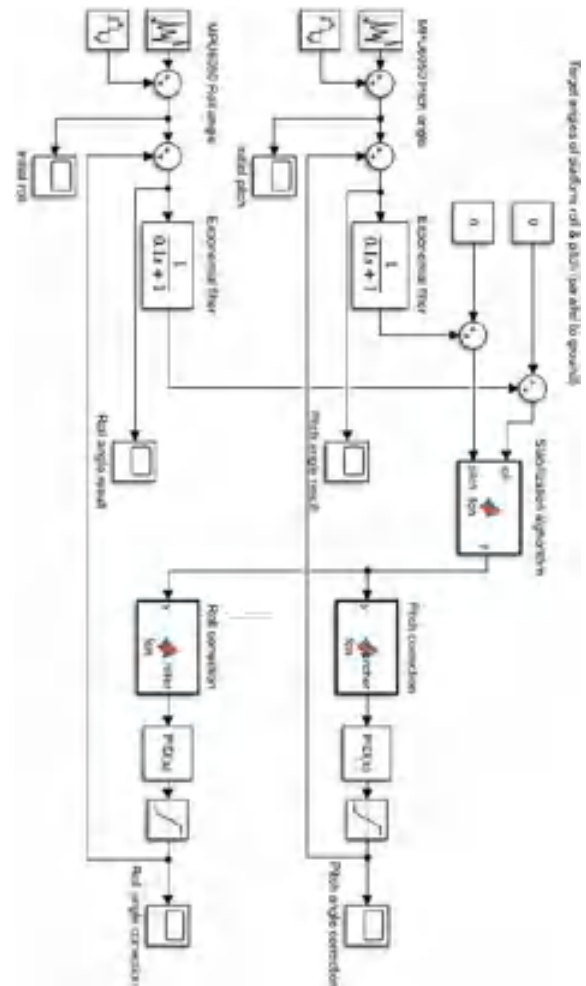


Рис.3. Блок-система балансування

На рисунку 4 представлено параметри ПІД-регуляторів.

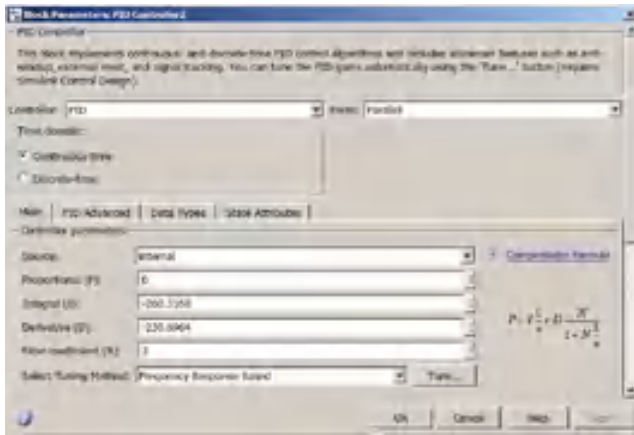


Рис.4.Результати налаштування ПІД –регуляторів

Графіки результатів моделювання представлені на рисунках 5-6.

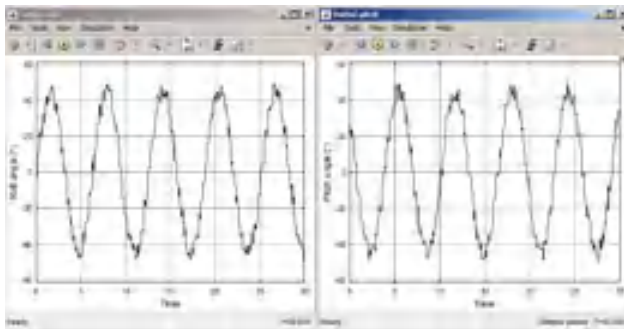


Рис.5. Графіки початкових значень нахилів з гіроскопу

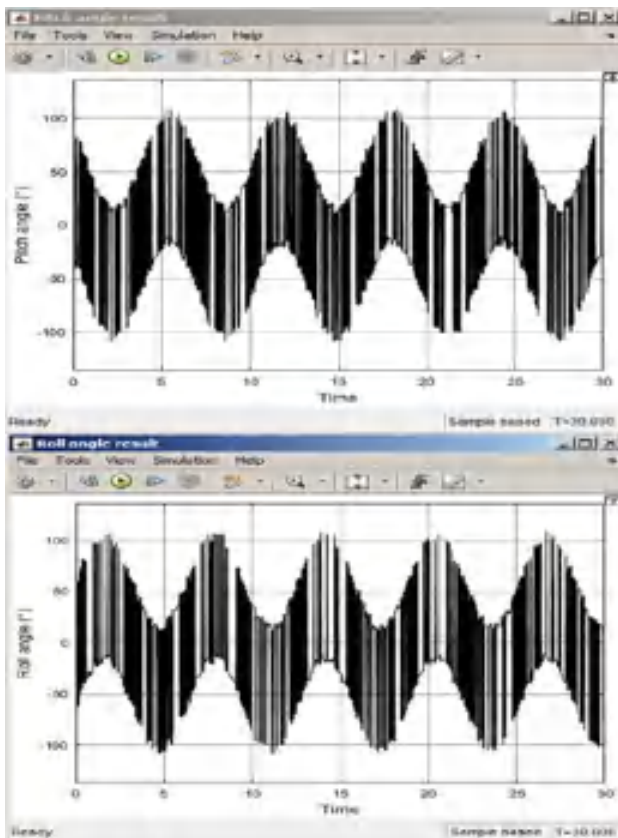


Рис.6. Графік значень корегувальних нахилів

Незважаючи на недолік блок-системи щодо відсутності ідеальної симуляції реалістичних не-екстремальних фізичних умов експлуатації платформи з врахуванням інерції та не-моментальних відвертань платформи після корегування, на рисунку 6 можна побачити, що, система все одно корегує фінальні значення нахилів близько до нуля.

## Висновки

Представлені в роботі результати за допомогою моделювання у середовищі MatLab Simulink дозволяють оцінити точність та стійкість системи, що в свою чергу дає змогу розробити алгоритм балансування для крокуючої роботизованої платформи для пошукових робіт у важкодоступних місцях. Також вдосконалити програмне забезпечення для керування роботизованою платформою, що суттєво збереже час на розробку програмного забезпечення та точність руху кінцівок.,.

## Перелік посилань

- [1] Моделі та методи кіберфізичних виробничих систем в концепції Industry 4.0 : монографія / І. Ш. Невлюдов, В. В. Євсєєв, А. О. Андрусевич, С. С. Максимова ; – Oktan Print – Prague. 2023. – 321 с..
- [2] Гурін Д.В.,Поддубняк І. А., Розробка мобільної платформи для пошукових робіт., Збірник студентських наукових статей «Автоматизація та приладобудування» ADED-2023(Випуск 2) 336 с., с:277-282
- [3] Meng X., & et al. (2023). Trot Gait Stability Control of Small Quadruped Robot Based on MPC and ZMP Methods. Processes. 2023; 11(1):252. URL: <https://doi.org/10.3390/pr11010252> (дата звернення: 20.08.2023).
- [4] Tranzatto M., & et al. (2022). CERBERUS: Autonomous Legged and Aerial Robotic Exploration in the Tunnel and Urban Circuits of the DARPA Subterranean Challenge. Field Robotics, 2023, 2. 274-324. URL: <http://dx.doi.org/10.55417/fr.2022011> (дата звернення: 25.08.2023).
- [5] Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Maksymova, S., Demska, N., Kolesnyk, K., & Miliutina, O. (2022, September). Object Recognition for a Humanoid Robot Based on a Microcontroller. In 2022 IEEE XVIII International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH) PP. 61-64. DOI: 10.1109/MEMSTECH55132.2022.10002906
- [6] Yevsieiev, V. Comparative Analysis of the Characteristics of Mobile Robots and Collaboration Robots Within INDUSTRY 5.0. / V. Yevsieiev, D. Gurin // In the VI International Scientific and Theoretical Conference, September 8, 2023. Chicago, USA. P.92-94
- [7] Невлюдов І. Ш., Андрусевич А. О., Євсєєв В. В., Новоселов С. П., Демська Н. П. Проектування мобільних маніпуляційних роботів: Монографія. – Х. ;, 2022. – 427 с.

# Аналіз методів дистанційного знешкодження

Максим Лузан<sup>1</sup>, Дмитро Янушкевич<sup>2</sup>

1. Кафедра КІТАР, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА, Харків, пр. Науки. 14., email: [maksym.luzan@nure.ua](mailto:maksym.luzan@nure.ua)

**Анотація:** Розробка та впровадження модуля дистанційного знешкодження вибухонебезпечних предметів є важливим кроком у забезпеченні безпеки та захисту населення, оскільки ця технологія сприяє ефективному виявленню та безпечному усуненню потенційно небезпечних ситуацій, зменшуючи ризик для людей і майна.

**Ключові слова:** модулі дистанційного знешкодження, віддалене керування, технологія, безпека

## I. Вступ

У світі, де загрози вибухонебезпечних предметів є надзвичайно актуальними і вартою для безпеки громадськості і сил безпеки, модулі дистанційного знешкодження стають ключовою інновацією. Ці спеціалізовані технологічні засоби розробляються та впроваджуються з метою ефективного та безпечного виявлення та знешкодження вибухових пристроїв і боєприпасів. У нашому дослідженні ми розглянемо різновиди таких модулів, їх застосування та ключові характеристики, які допомагають забезпечити безпеку та захист у сучасному світі.

## II. Класифікації та різновиди модулів дистанційного знешкодження вибухонебезпечних предметів

Класифікація різновидів модулів даного напрямлення розділена на чотири розділи, а саме:

### 1. За призначенням:

– Модулі для знешкодження боєприпасів: Ці модулі використовуються для безпечного розібрання або вибухозахисту боєприпасів, таких як снаряди, міни, ракети тощо.

– Модулі для знешкодження вибухових пристроїв: Ці модулі призначені для розібрання або знешкодження вибухових пристроїв, таких як бомби, суміші і запалювачі.

– Модулі для роботи з хімічно небезпечними матеріалами: Деякі модулі можуть бути спроектовані для знешкодження хімічних та біологічних загроз.

### 2. За типом засобу знешкодження:

– Роботи-знешкоджувачі: Це автоматизовані роботи, оснащені спеціальними інструментами і пристроями для знешкодження вибухонебезпечних предметів. Вони можуть використовуватися віддалено, щоб зменшити ризик для операторів[1].

– Знешкоджувальні пристрої з радіоуправлінням: Це віддалені пристрої, керовані операторами, які використовуються для робіт знешкодження. Вони можуть бути багатоцільовими і відповідати за виконання різних завдань.

– Автономні модулі: Деякі модулі можуть бути автономними, тобто здатними приймати рішення і виконувати завдання без прямого втручання оператора.

### 3. За застосуванням:

– Військові модулі: Використовуються військовими та силами безпеки для знешкодження боєприпасів та вибухових пристроїв на бойових ділянках.

– Поліцейські та правоохоронні модулі: Ці модулі використовуються правоохоронними органами для реагування на підозрілі предмети і вибухові загрози в місцях громадського скопіння [2].

– Пожежні модулі: Іноді модулі дистанційного знешкодження використовуються для гасіння пожежі, яка може виникнути під час знешкодження вибухонебезпечних предметів.

### 4. За методом знешкодження:

– Вибухові модулі: Використовують контрольований вибух для знешкодження вибухонебезпечних предметів.

– Невибухові модулі: Ці модулі використовують інші методи, такі як різання, заморожування, водні струмені або інжекція рідини, для знешкодження предметів без вибуху.

Ця класифікація може варіюватися в залежності від виробника, специфікацій і конкретних вимог для конкретних завдань знешкодження вибухонебезпечних предметів.

Модулі дистанційного знешкодження вибухонебезпечних предметів можуть включати в себе різні різновиди і типи, в залежності від їхніх особливостей і призначення. Основні різновидності модулів поділяються на п'ять видів:

#### 1. Вибухові модулі:

– Вибухові заряди: Це модулі, які використовують контрольований вибух для розібрання або знешкодження вибухонебезпечних предметів. Вони можуть включати в себе вибухові заряди різного розміру і потужності, призначені для різних завдань.

#### 2. Невибухові модулі:

– Різальні пристрої: Ці модулі використовують різальні інструменти, такі як різачки або гільзи для різання кабелів і оболонок вибухонебезпечних пристроїв.

– Заморожувальні пристрої: Вони використовуються для заморожування вибухонебезпечних матеріалів, знижуючи їх стабільність і можливість вибуху.

– Водні струмені: Деякі модулі можуть використовувати водні струмені під високим тиском для знешкодження вибухонебезпечних предметів.

#### 3. Роботи-знешкоджувачі:

– Роботи-знешкоджувачі зі зброєю: Ці роботи можуть бути оснащені спеціалізованими інструментами і зброєю для безпечного знешкодження вибухонебезпечних предметів, включаючи роботи-кранівці для піднімання важких предметів або роботи-маніпулятори для точних операцій. [3]

#### 4. Знешкоджувальні пристрої з радіоуправлінням:

– Дистанційно керовані руки і інструменти: Оператор може використовувати дистанційне керування для роботи зі спеціальними інструментами, які призначені для знешкодження вибухонебезпечних предметів[4].

5. Автономні модулі:

– Автономні роботи-знешкоджувачі: Деякі роботи можуть бути оснащені системами штучного інтелекту і автономними функціями прийняття рішень для виконання завдань знешкодження без прямого керування оператором[5].

Для прикладу наведено декілька популярних роботів знешкоджувачів, а саме BISON, Vanguard MK2 та tEODor. BISON — повнопривідний робот для перевірки та знешкодження вибухонебезпечних предметів (Рис.1).



Рисунок 1. – BISON

Vanguard MK2 має шарнірний важіль і низький профіль, щоб досягти вузькості простору, наприклад під автомобілями (Рис. 2).



Рисунок.2 – Vanguard MK2

Ланцюгова гусенична машина tEODor 2 оснащена 2 акумуляторними батареями по 12 вольт по 85 А·год кожна, 6-вісним силовим маніпулятором з телескопічним нижнім важелем, який має телескопічну зону 400 мм і захват (Рис.3).



Рисунок3. – tEODor

Для більш наглядного розгляду цих роботів порівняємо їхні характеристики, для з'ясування їх переваг та недоліків(таблиця 1).

Таблиця 1 – Порівняння роботів знешкоджувачів

	BISON	Vanguard MK2	tEODor
Ступінь свободи маніпулятора	5	7	6
Розміри	1100x740 x 1200	720x440x 410	1100x680 x 300
Вага	210кг	55кг	360кг
Вантажопідйомність маніпулятора	Невідомо	5кг	20кг
Максимальний радіус дії маніпулятора	Невідомо	1320мм	1750мм
Швидкість	3.6 км/год	1-2 км/год	3 км/год
Механізм приводу	Колеса	Гусениці	Гусениці
Візуальна інформація	3 камери	2 камери	2 камери
Живлення	Батарея	Кабель (Опція батареї)	Батарея
Відстань дії	1 км	360м	200 м
Нічне бачення	-	Додатково	+

Згідно з порівняння можна зазначити, що кожен робот має свої переваги та недоліки між іншими, тому можна прийти к висновку що кожен з цих роботів має свої унікальні характеристики і можливості, і вибір залежить від конкретних завдань і потреб користувача.

III. Методи та пристрої для знищення мін  
Знешкодження мін - це небезпечна і важка операція, яка вимагає спеціалізованих знань, навичок та

обладнання. Існують різні методи та пристрої для знешкодження мін, включаючи:

#### 1. Ручне знешкодження:

– Металошукачі: Використовуються для виявлення металевих компонентів мін, таких як корпуси чи запалювачі.

– Спеціалізовані інструменти: Включають кінцівки, щипці та інші інструменти для відкриття і знешкодження мін.

#### 2. Роботи-знешкоджувачі:

– Роботи з радіоуправлінням: Віддалено керовані роботи, оснащені інструментами для виявлення і знешкодження мін.

– Автономні роботи: Спеціалізовані машини, які можуть самостійно здійснювати виявлення і знешкодження мін.

#### 1. Методи вибухового знешкодження:

– Контрольований вибух: Застосовується для знешкодження мін шляхом використання іншої вибухової речовини, яка спричиняє контрольований вибух.

– Нейтралізація запалювачів: Здійснюється шляхом видалення або знешкодження запалювачів мін без вибуху.

#### 2. Методи захисту від вибуху:

– Робочі костюми і екранування: Зменшують ризик для робочих, захищаючи їх від ушкоджень від можливого вибуху.

– Захисні контейнери і бар'єри: Використовуються для ізоляції мін від навколишнього середовища і мінімізації можливих руйнувань при знешкодженні.

#### 3. Діагностичні та детекторні пристрої:

– Магнітні детектори: Використовуються для пошуку металевих компонентів мін.

– Рентгенівські апарати і дрони зі зйомкою в ГЧ: Допомогають визначити структуру і склад мін без їхнього фізичного контакту[6].

Це лише деякі з методів і пристроїв, які використовуються для знешкодження мін. У кожному випадку процес знешкодження залежить від типу та характеристик міни, а також від наявності спеціалізованого обладнання та підготовки фахівців.

## IV. Висновки

Модулі дистанційного знешкодження вибухонебезпечних предметів є важливими засобами для забезпечення безпеки та управління ризиками в різних галузях тому можна зазначити, що дані модулі мають широкий спектр застосувань, від військових операцій до цивільного реагування на вибухові загрози. Ця технологія грає важливу роль у забезпеченні безпеки.

Також можна зазначити знешкодження вибухонебезпечних предметів стає все більш автоматизованим і віддалено керованим завдяки використанню роботів, дронів і інших технологічних рішень, тому це приводить до зниження ризику для життя і здоров'я операторів, оскільки вони можуть працювати на відстані від небезпечних об'єктів.

Отже ця інформація свідчить про значущість розвитку і використання модулів дистанційного знешкодження вибухонебезпечних предметів у

сучасному світі для забезпечення безпеки та запобігання вибухам та іншим небезпечним ситуаціям.

## Перелік посилань

- [1] Янушкевич Д. А., Кирпота Ф. В. (2021). Роботизовані системи та їх застосування у гуманітарному розмінуванні. Матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених «Комп'ютерно-інтегровані технології автоматизації технологічних процесів на транспорті та у виробництві», Харків, ХНАДУ, С. 104-109.
- [2] Іщенко А.В., Кобець М.В.(2005), Засоби і методи виявлення вибухових речовин та пристроїв у боротьбі з тероризмом, Київ, С. 121-129.
- [3] Nevliudov I., Yanushkevych D., Ivanov L. (2021). Analysis of the state of creation of robotic complexes for humanitarian mining. *Technology Audit and Production Reserves*, 6/2 (62), 47-52.
- [4] Толкунов І. О., Попов І. І., Янушкевич Д. А. Застосування сучасних роботизованих систем і комплексів у гуманітарному розмінуванні (2022). Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Problems of Emergency Situations». Харків: НУЦЗУ. С. 90-110.
- [5] Aggregated Standards List [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://robotistry.org/standards/StandardsList.html>.
- [6] Ata, A A (2010) Dynamic analysis of a non holonomic wheeled mobile manipulator for mine detection, *International Journal of Mechanics and Materials in Design*, Vol. 6, No. 3, August 2010, pp. 209-216
- [7] Ata, A A (2010) Dynamic analysis of a non holonomic wheeled mobile manipulator for mine detection, *International Journal of Mechanics and Materials in Design*, Vol. 6, No. 3, August 2010, pp. 209-216
- [8] Методики розмінування: різноманітність підходів до мінної загрози [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mil.in.ua/uk/blogs/metodyky-rozminuvannya-riznomanitnist-pidhodiv-do-minnoyi-zagrozy/>

# Способи удосконалення частотного перетворювача напруги для блоку управління електричним транспортним засобом

Михайло Ковальов<sup>1</sup>, Іванов Леонід<sup>1</sup>

1. Кафедра КІТАР, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА, Харків, пр. Науки. 14., email: mykhailo.kovalov@nure.ua

Кафедра КІТАР, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА, Харків, пр. Науки. 14., email: [Leonid.ivanov@nure.ua](mailto:Leonid.ivanov@nure.ua)

**Анотація:** дослідження присвячене проблемі удосконалення частотного перетворювача напруги в блоках управління електричними транспортними засобами. Розглянуто основні аспекти частотних перетворювачів, вимоги до них у контексті електричних транспортних засобів та можливі шляхи їх удосконалення, такі як використання сучасних напівпровідникових матеріалів, розробка оптимальних алгоритмів керування та використання технологій широкого діапазону частот.

**Ключові слова:** удосконалення, ефективність, надійність, напівпровідникові матеріали, вимоги до частотних перетворювачів напруги.

## Вступ

Електромобільна революція, яка почалася в останні два десятиліття, визначає новий вимір сучасної автомобільної індустрії. Перехід від традиційних запальних двигунів до електричних транспортних засобів змінить спосіб, яким ми переміщуємося, зменшить забруднення повітря та залучить нові технології до автомобільного виробництва. Однак успішне розповсюдження електричних автомобілів не обмежується лише розвитком літій-іонних акумуляторів та створенням дружніх до довкілля електродвигунів. Ключовою частиною їхньої інфраструктури та роботи є частотний перетворювач напруги (рис. 1), що відповідає за перетворення постійної напруги акумуляторної батареї в змінну напругу, яка живить електродвигун. [1]



Рисунок 1. Зовнішній вигляд перетворювача напруги автомобільного з 24В у 12В (інвертор-конвертор UKC DC / DC 24v-12v 20A UKC)

На рисунку 1 наведений перетворювач напруги з 24 вольт на 12 вольт UKC на 20 ампер. Призначений

для інвертування напруги бортової мережі 24 вольт вантажних автомобілів DAF, автобусів, КамАЗів та інших транспортних засобів у 12 вольт. Перетворювач розрахований на навантаження 20 ампер, чого достатньо для підключення більшості автомобільних електроприладів. Інвертор має компактні розміри, виконаний в міцному металевому корпусі, забезпечений пасивним охолодженням - алюмінієвим радіатором.

Основні характеристики перетворювача напруги 24-12 UKC 20A: [1]

Вхідна напруга: DC 20-30V;

Напруга на виході: DC 12V;

Потужність: 180W;

Максимальна сила струму: 20A;

Максимальна температура роботи: 80C;

Статичний робочий струм: <50ma;

Розміри: 120 x 110 x 42 мм.

У цьому високотехнологічному та динамічному середовищі роботи електромобілів удосконалення частотного перетворювача напруг виявляється на передньому краї зусиль інженерів і вчених. Від правильної роботи цього ключового компоненту залежить продуктивність, надійність та інтеграція електричних транспортних засобів у сучасне суспільство. Це завдання стає надзвичайно важливим у контексті поступового переходу до сталого споживання енергії та зменшення викидів вуглецю в атмосферу.

Правильність підбору перетворювачів напруги залежить від таких параметрів:

- Потужність.

Важливо, щоб потужність перетворювача напруги була в 2 рази більшою за номінальну потужність приладів: 150 В, 350 В, 800 В, 2000 В;

- Форма сигналу на виході.

Модифікована синусоїда (дозволяє підключити майже всі побутові пристрої) та чиста синусоїда (до неї підключають обладнання, яке чутливе до форми сигналу на виході).

- Тип підключення.

Підключення до прикурювача (при невисокому навантаженні); до клем АКБ (напруга в бортовій мережі автомобіля залежить від заряду акумуляторної батареї).

- Наявність функції стабілізації напруги.

Різка коливання напруги спричиняє поломку приладів; побутове обладнання витримує коливання від 180 В до 240 В. Виробники в інструкції вказують



пікову потужність пристроїв, тобто максимальне короткочасне навантаження, яке може витримати прилад; середній показник потужності побутових приладів: ноутбук – 250 В, електроплита – 1500 В, електродріль – 1000 В.

Щоб дізнатися номінальну потужність приладу, потрібно пікове навантаження поділити на 2.

– Режим роботи перетворювача напруги.

Режим тривалої роботи: ідентичний номінальній потужності.

Перезавантаження: потужність інвертора протягом перших 30 хв в півтора рази більша від номінальної.

Пусковий режим: моментальна потужність в два рази більша від номінальної.

У цьому дослідженні планується детально розглянути можливості використання сучасних технологій для частотних перетворювачів напруги у системах керування електричними транспортними засобами та проаналізувати можливі шляхи їхнього удосконалення. Після цього буде зроблено вибір способу удосконалення частотного перетворювача, який використовується для блоку управління електротранспортом. Будуть розглянуті ключові аспекти, такі як технологія модуляції ширини імпульсів, потужність та продуктивність, гармонічні спотворення та електромагнітна сумісність, температурна стійкість та знос компонентів, системи керування і діагностики та можливості скасування завад при їх використанні. Далі буде детальніше розглянуто технологічні концепції для досягнення цієї мети, зокрема використання багаторівневих інверторів, передових алгоритмів модуляції, нових матеріалів і компонентів, а також оптимізацію використання систем керування.

Завдяки цьому високоякісному підходу до удосконалення експлуатаційних показників частотного перетворювача напруги блоку управління можна розраховувати на збільшення ефективності роботи електричних транспортних засобів та покращення їх інтеграції в сучасне автомобільне виробництво. Це, в свою чергу, сприятиме зростанню популярності, підвищенню безпеки та строків їх експлуатації, а також поширенню електромобілів, що відіграє важливу роль у здійсненні переходу до сталого майбутнього та зниженні впливу на навколишнє середовище.

## II. Аналіз поточного стану

Аналіз поточного стану застосування частотного перетворювача напруги в блоках управління електричними транспортними засобами є важливою передумовою для розробки та впровадження способів удосконалення їх роботи.

Розглянемо можливі способи удосконалення ефективності застосування частотного перетворювача напруги: [2-3]

1. Розширення модуляції ширини імпульсів (PWM). На сьогоднішній день більшість частотних перетворювачів у електричних транспортних засобах використовують PWM для керування вихідною напругою. Ширина модуляції дозволяє ефективно керувати виходом напруги та регулювати напругу на змінній стороні перетворювача. Однак ця технологія

має свої обмеження, такі як висока гармонічна складова струму та обмежена частота комутації, що може впливати на ефективність та точність управління.

2. Збільшення строків експлуатації акумуляторів електромобіля за рахунок оптимального використання енергії батареї, яку можливо досягнути шляхом зменшення витрат при процесі перетворення напруги. Також, система керування повинна бути здатною до швидкої реакції на зміни навантаження, щоб забезпечити високу продуктивність електродвигуна.

3. Гармонічні спотворення та електромагнітна сумісність струмів та напруг при процесі перетворення. Використання PWM може призводити до гармонічних спотворень у струмі та напрузі, що впливає на якість енергопостачання та може створювати проблеми з електромагнітною сумісністю входу та виходу показників струмів та напруг. Це досягається за рахунок додаткових заходів щодо фільтрації цих показників та зменшення частоти гармонік у системі електропостачання.

4. Температурна стійкість та знос компонентів системи електропостачання. В електричних транспортних засобах, особливо у високопродуктивних моделях, частотний перетворювач працює при високих температурах та навантаженнях. Це може впливати на тривалість служби компонентів, таких як напівпровідникові ключі та конденсатори, і може призводити до їх зносу та відмов.

5. Автоматизована система керування і діагностики електропостачання. Сучасні системи керування та діагностики мають важливе значення для забезпечення стабільності та надійності частотного перетворювача напруги. Моніторинг стану елементів системи електропостачання, виявлення їх несправностей та системи аварійного захисту є важливими функціями, які дозволяють своєчасно уникнути серйозних проблем та забезпечити безпеку в експлуатації електротранспорту.

6. Використання режиму рекуперації системи автоматичного керування роботою частотного перетворювача напруги. В деяких випадках, наприклад, при русі електромобіля по інерції та при гальмуванні (тобто без використання системи електроживлення) застосовується режим рекуперації енергії, частотний перетворювач напруги може бути використаний для відправлення енергії назад до акумуляторної батареї. Це потребує використання додаткових спеціальних функцій від системи автоматизованого керування для захисту та запобігання механічних пошкоджень акумуляторної батареї.

Загальний аналіз поточного стану роботи частотного перетворювача напруги у системах керування електричними транспортними засобами показує, що існують багато можливостей для подальшого його удосконалення, особливо у плані підвищення ефективності, надійності та продуктивності. Розробка нових технологій і методів контролю, а також використання нових матеріалів і

компонентів, може допомогти досягти цих цілей та розвивати електричну мобільність у майбутньому.

### III. Удосконалення частотного перетворювача напруги

Удосконалення частотного перетворювача напруги є ключовим завданням для покращення продуктивності роботи та ефективності експлуатації електричних транспортних засобів. Далі представлені способи удосконалення, деталізовані аспекти та можливі напрямки удосконалення цього важливого елемента у системах керування електромобілів:

- Використання багаторівневих інверторів.

Один із перших шляхів удосконалення частотного перетворювача полягає у використанні багаторівневих інверторів. Такі інвертори, як Multi-Level Cascaded H-Bridge Inverter, складаються з кількох рівнів напруги, що дозволяє підвищити якість вихідної напруги. Вони знижують гармонічні спотворення струму і напруги та покращують ефективність роботи системи. Додатково, багаторівневі інвертори дозволяють працювати на вищих частотах комутації, що робить їх ідеальними для високопродуктивних електромобілів.

- Передові алгоритми модуляції.

Використання передових алгоритмів модуляції, таких як Space Vector Modulation (SVM) та Predictive Control, може значно покращити якість управління частотним перетворювачем напруг. SVM дозволяє керувати напругою та струмом з високою точністю та зменшує гармонічні спотворення. Застосування алгоритмів Predictive Control дозволяє прогнозувати стан системи і оптимально керувати її параметрами, що призводить до економії енергії та покращенню продуктивності.

- Використання нових матеріалів та компонентів.

Розвиток нових матеріалів і компонентів з вищою температурною стійкістю та здатністю працювати на високих частотах комутації може значно покращити ефективність та надійність частотного перетворювача. Наприклад, використання силіконових карбідних напівпровідників може допомогти знизити втрати енергії і підвищити робочу температуру. Також, розробка високовольтних та високочастотних компонентів може сприяти зменшенню розмірів та ваги системи.

- Оптимізація системи керування та діагностики.

Удосконалення системи керування та діагностики може покращити ефективність та надійність частотного перетворювача. Важливо мати ефективні механізми моніторингу стану компонентів, виявлення несправностей та аварійних систем захисту. Завдяки цьому можна реагувати на проблеми вчасно і попереджувати серйозні відмови.

- Впровадження нових топологій і структур:

Розробка та впровадження нових топологій і структур частотних перетворювачів, які б краще відповідали вимогам електричних транспортних засобів, може стати важливим кроком у напрямку покращення їх продуктивності та надійності.

Удосконалення частотного перетворювача напруг є невід'ємною частиною розвитку електричних транспортних засобів. Подальший науковий і технічний прогрес у цій галузі допоможе зробити електромобілі більш екологічно безпечними, енергоефективними, доступними за ціною, сприяючи тим самим розширенню їхнього застосування.

### IV. Висновки

У дослідженні цієї теми детально розглянуто проблеми та перспективи удосконалення частотного перетворювача напруги в блоках управління електричними транспортними засобами. Електромобільна індустрія переживає значне зростання та розвиток, і частотний перетворювач визначає ключову роль у цьому процесі, оскільки він відповідає за перетворення енергії батареї в рух автомобіля.

Під час аналізу поточного стану технології були визначені основні виклики, які стоять перед розробниками та інженерами в цій галузі. Серед них можна виділити низьку ефективність через гармонічні спотворення та високі втрати енергії, обмежену частоту комутації, а також проблеми з тепловим режимом та надійністю компонентів.

За допомогою обговореного аналізу були представлені можливі шляхи удосконалення частотного перетворювача, які можуть значно покращити його продуктивність та ефективність. Використання багаторівневих інверторів, передових алгоритмів модуляції, нових матеріалів і компонентів, а також оптимізація систем керування стають кроком уперед у напрямку забезпечення стабільного та надійного функціонування частотного перетворювача.

Ця робота підкреслює важливість подальших досліджень та розробок у галузі удосконалення частотних перетворювачів, які є необхідними для подальшого розвитку електричних транспортних засобів та їх впровадження у сучасне суспільство. Завдяки цим зусиллям ми можемо сприяти зменшенню впливу автотранспорту на довкілля, забезпечуючи тим самим більш стале та екологічно безпечне майбутнє для нашої планети.

### Перелік посилань

- [1] Перетворювач частоти. Advance: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%82%D0%B2%D0%BE%D1%80%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D1%87\\_%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%B8](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%82%D0%B2%D0%BE%D1%80%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D1%87_%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%B8).
- [2] Що таке перетворювач частоти. Advance: [https://elprivod.nmu.org.ua/ua/entrant/frequency\\_converter.php](https://elprivod.nmu.org.ua/ua/entrant/frequency_converter.php).

# Розробка програми для пошуку й побудови оптимального маршруту мобільного робота у двовимірному просторі

Світлана Максимова<sup>1</sup>, Георгій Борисов<sup>1</sup>

1. Кафедра КІТАР, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА, Харків, пр.Науки 14., email: [heorhii.borysov@nure.ua](mailto:heorhii.borysov@nure.ua)

**Анотація:** В науковій роботі проведено аналіз сучасних мобільних роботів, які використовуються для пошуку оптимального маршруту. На базі проведеного аналізу розроблено структурну схему, обрано основні елементи та описано їх призначення, рекомендовані апаратні модулі та запропоновано метод, за допомогою якого буде проводитись пошук маршруту.

**Ключові слова:** мобільні роботи, пошук оптимального маршруту, структурна схема, апаратні модулі.

## I. Вступ

Роботи - це машини, які впливають на зміни у світі і мають ті ж фізичні можливості, що й люди та тварини. Роботи автономні і можуть виконувати завдання без втручання людини. Автоматизовані роботи все частіше використовуються для автоматизації рутинних завдань у таких сферах, як промислова автоматизація та складське господарство, а також у небезпечних для людини сферах, таких як освоєння космосу, військові місії та пошуково-рятувальні операції.

## II. Основні компоненти підсистеми

Мобільні роботи (рис. 1) - це роботи, які можуть пересуватися у двовимірному (2D) або тривимірному (3D) просторі. Робота з оцінювання буде зосереджена на мобільних роботах, які пересуваються у двовимірному просторі. Успіх мобільного робота залежить від його здатності до навігації, тобто визначення свого поточного положення в просторі та досягнення бажаного місця призначення. Самостійно пересувні мобільні роботи використовуються для переміщення товарів на складах, виконання рутинних завдань, таких як пилосос, і переміщення людей в транспортних засобах. Мобільні роботи також використовуються для дослідження небезпечних або невідомих місць у космосі, а також для пошуково-рятувальних операцій. Хоча вимоги цих галузей відрізняються, всі вони покладаються на автономну навігацію [1].

Більшість доступних мобільних роботів мають апаратне і програмне забезпечення. Апаратне забезпечення включає в себе датчики і приводи. Датчики вимірюють різні величини в навколишньому середовищі (наприклад, світло, тепло) і перетворюють їх на цифрову інформацію.



Рисунок 1 – Основні типи приводів мобільних роботів

Актuatorи - це двигуни, які спричиняють фізичний рух. Програмний рівень приймає інформацію від датчиків і генерує команди для виконавчих механізмів, щоб робот виконував поставлене завдання [2-5]. Таке розділення апаратного та програмного забезпечення для прийняття рішень має значні переваги. Це дозволяє виробникам роботів виробляти стандартизованих роботів без специфічних застосувань, а користувачам - гнучко впроваджувати індивідуальні алгоритми прийняття рішень, що базуються на конкретних застосуваннях. Загальна схема робота представлена на рис. 2.



Рисунок 2 – Загальна схема робота

Процес прийняття рішень має кілька підрозділів, зокрема планування, міркування та машинне навчання. Планування передбачає майбутні дії для досягнення мети. Обґрунтування визначає істинність чи хибність тверджень на основі відомих фактів. Навчання використовує минулий досвід для покращення прийняття рішень. Використання штучного інтелекту в робототехніці призводить до покращення продуктивності роботів завдяки досвіду [6-7].

Завдяки розвитку таких наукових дисциплін, як теорія автоматичного керування та штучний інтелект, сучасний робот не тільки виконує програму, для якої він призначений, але й приймає власні рішення при виконанні завдань на основі інформації, отриманої через різні датчики та пов'язані з ними системи, і мінімізує помилки навчання.

Одне з найскладніших завдань - автоматизувати управління траєкторією руху робота за наявності перешкод. Найважливішим елементом тут є забезпечення робота необхідними датчиками і підсистемами для визначення наявності, типу і відстані перешкод, а також для формування точних і своєчасних дій по зміні траєкторії і подальшого визначення двигуна.

Основною метою атестаційної роботи є дослідження існуючих методів та алгоритмів забезпечення автономного руху мобільних роботів. Вивчення питання оцінки навколишнього середовища з використанням інформації від систем технічного зору. Вивчення та реалізація різних методів побудови систем управління та позиціонування для забезпечення реалізації руху робота по заданій траєкторії та об'їзду перешкод.

Об'єктом дослідження є системи навігації автономних мобільних роботів.

Предметом дослідження є алгоритм руху робота на основі системи визначення траєкторії, якому необхідно координувати свій рух для уникнення перешкод в умовах відсутності інформації про навколишні об'єкти. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні завдання:

- Аналіз існуючих методів та алгоритмів забезпечення автономного руху мобільних роботів; та
- Проаналізувати методи оцінки зовнішнього середовища з використанням інформації від систем технічного зору
- Дослідження факторів, що впливають на побудову систем керування та позиціонування для переміщення робота при об'їзді перешкод;
- Розробка алгоритмів керування роботом на основі систем прийняття рішень, проведення необхідних розрахунків, вимірювань та адаптації обраного алгоритму керування;
- Розробка алгоритмів картографування для неповної інформації про навколишні об'єкти;
- Реалізація алгоритму  $A^*$  для пошуку найкоротшого шляху, модифікація алгоритму;
- Аналіз реалізації розробленого алгоритму  $A^*$ .

### III. Висновки

Враховуючи набираюче обертів велике розповсюдження роботів стає зрозумілою актуальність розробки роботів для вирішення різноманітних завдань. Окремо стоять мобільні роботи, які можуть виконувати поставлені задачі у різних локаціях, в тому числі переміщуючи різні вантажі між цими локаціями. Слід зазначити, що при таких переміщеннях роботи можуть стикатися із довірливими перешкодами. Тому доцільно устатковувати їх пристроями технічного зору, а також найрізноманітнішими датчиками, що можуть дозволити побудувати актуальну карту місцевості в

реальному часі. Крім того, маршрут руху робота має бути оптимальним за одних, основним, чи множиною декількох критеріїв.

Таким чином, розробка програми для пошуку й побудови оптимального маршруту мобільного робота у двовимірному просторі є надзвичайно актуальним завданням, яке планується вирішити в ході виконання магістерської атестаційної роботи

### Перелік посилань

- [1] Attar, H., & et al.. (2022). Zoomorphic Mobile Robot Development for Vertical Movement Based on the Geometrical Family Caterpillar. Computational Intelligence and Neuroscience, 2022, Article ID 3046116, <https://doi.org/10.1155/2022/3046116>.
- [2] Nevludov, I., Yevsieiev, V., Maksymova, S., Demska, N., Kolesnyk, K., & Miliutina, O. (2022, September). Object Recognition for a Humanoid Robot Based on a Microcontroller. In 2022 IEEE XVIII International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH) PP. 61-64. DOI: 10.1109/MEMSTECH55132.2022.10002906
- [3] A Small-Scale Manipulation Robot a Laboratory Layout Development / Yevsieiev V., Starodubcev N., Maksymova S., Stetsenko K. // International independent scientific journal, №47, 2023. P.18-28.
- [4] Yevsieiev V., Maksymova S., Starodubcev N. Software Implementation Concept Development for the Mobile Robot Control System on ESP-32CAM // Current issues of science, prospects and challenges: collection of scientific papers «SCIENTIA» with Proceedings of the II International Scientific and Theoretical Conference (Vol. 2), June 10, 2022. Sydney, Australia: European Scientific Platform., 2022. P. 54-56
- [5] Yevsieiev, V. Comparative Analysis of the Characteristics of Mobile Robots and Collaboration Robots Within INDUSTRY 5.0. / V. Yevsieiev, D. Gurin // In the VI International Scientific and Theoretical Conference, September 8, 2023. Chicago, USA. P.92-94
- [6] Vladyslav Yevsieiev, Nikolaj Starodubcev (2023). Development of a control algorithm for a small-sized mobile manipulation robot. Scientific Collection «InterConf», (140), P. 648-651.
- [7] Yevsieiev V., Maksymova S., Starodubcev N. Software Implementation Concept Development for the Mobile Robot Control System on ESP-32CAM // Current issues of science, prospects and challenges: collection of scientific papers «SCIENTIA» with Proceedings of the II International Scientific and Theoretical Conference (Vol. 2), June 10, 2022. Sydney, Australia: European Scientific Platform., 2022. P. 54-56

# Розробка підсистеми керування мобільного роботу для орієнтації в виробничому просторі

Світлана Максимова<sup>1</sup>, Канаєв Владислав<sup>1</sup>

1. Кафедра КІТАР, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА, Харків, пр.Науки 14., email: vladyslav.kanaiev@nure.ua

**Анотація:** Дана наукова робота присвячена розробці та тестуванню підсистеми управління мобільним роботом для забезпечення його орієнтації у виробничому просторі. Потреба мобільних роботах на робочому місці стає все більш актуальною, а для їх успішної роботи необхідна ефективна система навігації. У цій роботі докладно розглядаються ключові аспекти розробки такої підсистеми, включаючи інтеграцію технологій, постійне вдосконалення, безпеку та ефективність, а також перспективи подальших досліджень у цій галузі. Результатом роботи є система, здатна покращити виробничий процес, забезпечити ефективність та безпеку у виробничому середовищі.

**Ключові слова:** Мобільний робот, виробничий простір, система навігації.

## I. Вступ

Дана робота є актуальним дослідженням та розробкою підсистеми керування мобільним роботом для орієнтування у промислових приміщеннях. Є кілька ключових факторів, які роблять цю роботу актуальною і важливою в сучасному світі.

Сьогодні ми спостерігаємо зростаючу потребу в автоматизації виробництва. Мобільні роботи стають невід'ємною частиною цієї трансформації, виконуючи різноманітні завдання у виробничих цехах і на складах [1]. Розробка ефективних систем орієнтації для цих роботів стає критичною, оскільки це сприяє підвищенню продуктивності та зниженню витрат виробництва.

Безпека стає все більш важливою у виробничих середовищах, де роботи працюють поруч з людьми. Системи орієнтації допомагають роботам уникати зіткнень з людьми та іншими об'єктами, що сприяє створенню безпечного середовища для всіх учасників виробництва. [1-3]

Виробниче середовище може бути складним і мінливим. Мобільні роботи повинні вміти орієнтуватися і орієнтуватися в таких умовах. Велике значення має розробка підсистеми управління, здатної адаптуватися до різних середовищ і умов.

Крім того, з появою нових технологій, таких як датчики та алгоритми, з'являються нові можливості для вдосконалення систем орієнтації. Інновації в області робототехніки та автоматизації постійно змінюють ландшафт і забезпечують інженерів і дослідників новими інструментами для розробки більш ефективних систем орієнтації.

Зрештою, розробка підсистеми управління мобільним роботом для орієнтації у виробничих приміщеннях залишається актуальним і затребуваним напрямком досліджень і розробок. Навіть найбільший у світі інтернет-магазин має у своєму розпорядженні понад 200000 роботів, вони залучені на складах 180 країн. Роботизований склад Amazon використовує системи для автоматичного транспортування товарів.

[4-5] Ця робота має потенціал змінити спосіб функціонування та управління виробництвом, зробивши його більш ефективним і безпечним.

В даний час мобільні роботи стають невід'ємною частиною автоматизованого виробництва. Вони надають унікальні можливості для підвищення продуктивності, зниження витрат і покращення безпеки на робочому місці. Однак, щоб роботи успішно функціонували в промислових умовах, їм потрібна ефективна система орієнтації, яка дозволяє їм безпечно й точно пересуватися, виконувати завдання та взаємодіяти з навколишнім середовищем, що дозволяє їм легко доставляти, завантажувати та розвантажувати матеріали практично без втручання людини [6]. У цій статті більш детально описано розробку підсистеми керування мобільним роботом, з акцентом на використання мікроконтролера Arduino.

Виробничі маніпулятори, роботи-безпілотники, інтерактивні іграшки, роботи-хірурги, побутові андроїди, роботи-собаки, дрони, роботи-укладачі цегли та інше. Мобільні роботи стали надійними помічниками в багатьох сферах [7-9]. Вони здатні виконувати монотонні та небезпечні завдання, звільняючи людину від рутини та ризику. Однак, щоб мобільні роботи працювали в різноманітних і динамічних виробничих середовищах, їм потрібна надійна система орієнтації, яка забезпечує високу точність і надійність руху.

## II. Основні компоненти підсистеми

Вибір відповідних датчиків відіграє вирішальну роль у проектуванні системи орієнтації мобільного робота. Датчики надають роботу інформацію про його оточення та стан. Для досягнення максимальної ефективності та точності орієнтації можна використовувати різноманітні типи датчиків. Це включає ультразвукові далекоміри для вимірювання відстані до перешкод, камери для візуального розпізнавання маркерів або об'єктів, інфрачервоні датчики для виявлення джерел тепла та інші. При виборі датчиків необхідно враховувати вимоги до точності, надійності та області застосування робота.

Алгоритми обробки даних від датчиків і управління рухом робота є ключовим елементом системи орієнтації. Вони визначають, як робот аналізуватиме інформацію від датчиків і прийматиме рішення щодо руху. Мікроконтролер Arduino може реалізовувати різноманітні алгоритми, включаючи алгоритми локалізації, планування шляху та уникнення перешкод. Розробка та оптимізація цих алгоритмів відіграють важливу роль у забезпеченні ефективної системи контролю ставлення. Алгоритми повинні бути розроблені з урахуванням особливостей

виробничого простору та завдань, які повинен виконувати робот. [10-13]

Вибір технічних компонентів і рішень також має велике значення для успішної реалізації системи орієнтації на мікроконтролері Arduino. Це включає вибір двигунів і кодерів для керування рухом, бездротових модулів для зв'язку та передачі даних, а також датчиків для вимірювання параметрів навколишнього середовища, таких як температура та вологість. Технічні рішення повинні відповідати вимогам продуктивності, надійності та довговічності системи. Ефективне керування енергією також є важливим аспектом, особливо під час експлуатації робота під час тривалого виробництва.

Інтеграція обраних датчиків, алгоритмів і технічних компонентів є завершальним етапом розробки підсистеми управління. На цьому етапі створюється єдине програмне забезпечення, яке дозволяє мікроконтролеру Arduino взаємодіяти з датчиками, обробляти отримані дані та керувати рухом робота відповідно до встановлених алгоритмів. Ефективна інтеграція компонентів забезпечує послідовну роботу системи та здатність адаптуватися до мінливих умов виробничого середовища.

### III. Проектування та тестування

Після визначення всіх компонентів і розробки алгоритмів необхідно приступати до проектування системи орієнтування. Це передбачає створення електричної схеми для підключення датчиків і приводів до мікроконтролера Arduino. Також необхідно розробити програмне забезпечення для зчитування даних з датчиків, обробки інформації та керування рухом робота. При проектуванні необхідно враховувати особливості виробничого приміщення, в якому працюватиме робот. [14-16]

Тестування в реальних умовах виробництва є невід'ємною частиною процесу розробки і дозволяє оцінити реальну продуктивність і надійність системи. Під час тестування слід враховувати наступні аспекти:

- Оцінка точності навігації: важливим етапом тестування є оцінка навігаційної точності системи орієнтації. Робот повинен мати можливість точно й передбачувано пересуватися у виробничому просторі. Вимірювання та аналіз розташування робота в різні моменти часу дозволяє нам визначити, наскільки близько він підходить до цільової точки та наскільки точно він слідує заданому шляху.
- Перевірка виявлення перешкод: система орієнтування повинна ефективно виявляти перешкоди і правильно на них реагувати. Тестування має включати сценарії, що включають перешкоди різного розміру та форми, щоб переконатися, що робот здатний їх уникнути або уникнути.
- Оцінка стійкості та надійності: робот повинен демонструвати стабільну роботу в різних умовах, включаючи зміни освітленості, температури та вологості. Тестування також включає перевірку довгострокової надійності

системи. Робот повинен успішно функціонувати протягом тривалого часу без збоїв і втрати продуктивності.

- Оцінка ефективності та швидкості: ефективність системи контролю ставлення також є важливим аспектом. Ця фаза тестування оцінює, наскільки швидко та ефективно робот виконує свої завдання у виробничому середовищі. Ефективність може залежати від вибору алгоритмів і технічних компонентів.

Реакція на зміни середовища: умови експлуатації можуть змінюватися з часом. Тестування повинно включати сценарії, за якими робот повинен адаптуватися до змін навколишнього середовища. Це може включати переміщення або створення нових перешкод.[18,19]

### IV Висновки

Розробка та тестування підсистеми управління мобільним роботом для орієнтації у виробничому просторі – багатогранний та відповідальний процес. Однак успішне завершення цього процесу може значно підвищити ефективність та безпеку автоматизованих виробничих процесів.

Розробка підсистеми орієнтації мобільного робота передбачає інтеграцію різних технологій, починаючи від датчиків та мікроконтролера Arduino і закінчуючи алгоритмами та двигунами. Злагоджена робота всіх компонентів відіграє важливу роль у досягненні цілей.

Розробка мобільних роботів – тривалий процес. Постійне вдосконалення системи управління орієнтацією, алгоритмів та апаратних компонентів необхідне для адаптації до змінних умов виробничого середовища та забезпечення максимальної продуктивності.

Система орієнтації не тільки підвищує ефективність, а й забезпечує безпеку робота та оточуючих. Це особливо важливо у виробничих умовах, де роботи можуть взаємодіяти з людьми та обладнанням.

Галуззю активних досліджень також є розробка систем орієнтації мобільних роботів. Постійно з'являються нові технології та методики, що відкриває нові можливості для покращення функціональності та ефективності роботів.

Таким чином, розробка підсистеми управління для мобільного робота, здатного переміщатися у виробничому середовищі, потребує інженерних навичок, ретельного проектування та тестування, а також постійного прагнення до вдосконалення. Ця робота потенційно може змінити спосіб роботи та управління виробництвом, зробивши його більш ефективним та безпечним.

## Перелік посилань

- [1] Промислова та мобільна робототехніка [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2020/05/6.-promyslova-ta-mobilna-robototehnika.pdf>
- [2] Роботи на складах: 5 прикладів автоматизації [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <https://wareteka.com.ua/uk/blog/roboti-na-skladah-prikladi-avtomatizaciyi/>
- [3] AMRs That Transport and Sort Goods (AMR)? [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <https://modula.us/blog/autonomous-mobile-robots/>
- [4] Розвиток робототехніки [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <https://metinvest-smc.com.ua/articles/razvitiie-robototexniki-budushe-uzhe-nastupilo/>
- [5] Attar, H., & et al.. (2022). Control System Development and Implementation of a CNC Laser Engraver for Environmental Use with Remote Imaging. Computational Intelligence and Neuroscience, 2022, Article ID 9140156, <https://doi.org/10.1155/2022/9140156>.
- [6] Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Yevsieiev, V., Amer, A., Demska, N., Luhach, A. K., & Lyashenko, V. (2022). Electronic User Authentication Key for Access to HMI/SCADA via Unsecured Internet Networks. Computational Intelligence and Neuroscience, 2022, Article ID 5866922. <https://doi.org/10.1155/2022/5866922>
- [7] Nevliudov, I., & et al.. (2021). Development of a cyber design modeling declarative Language for cyber physical production systems, J. Math. Comput. Sci., 11(1), 520-542.
- [8] Nevliudov, I., & et al.. (2021). GUI Elements and Windows Form Formalization Parameters and Events Method to Automate the Process of Additive CyberDesign CPPS Development. Advances in Dynamical Systems and Applications, 16(2), 441-455.
- [9] Attar, H., & et al.. (2022). Zoomorphic Mobile Robot Development for Vertical Movement Based on the Geometrical Family Caterpillar. Computational Intelligence and Neuroscience, 2022, Article ID 3046116, <https://doi.org/10.1155/2022/3046116>.
- [10] Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Maksymova, S., Demska, N., Kolesnyk, K., & Miliutina, O. (2022, September). Object Recognition for a Humanoid Robot Based on a Microcontroller. In 2022 IEEE XVIII International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH) PP. 61-64. DOI: 10.1109/MEMSTECH55132.2022.10002906
- [11] Невлюдов І. Ш., Андрусевич А. О., Євсєєв В. В., Новоселов С. П., Демська Н. П. Проектування мобільних маніпуляційних роботів: Монографія. – Х. :, 2022. – 427 с.
- [12] Моделі та методи кіберфізичних виробничих систем в концепції Industry 4.0 : монографія / І. Ш. Невлюдов, В. В. Євсєєв, А. О. Андрусевич, С. С. Максимова ; – Oktan Print – Prague. 2023. – 321 с.
- [13] Yevsieiev V. Some aspects of the development of the BEAM robot control scheme / V. Yevsieiev // In IV International Scientific and Theoretical Conference, Singapore, Republic of Singapore. - P. 79-81.
- [14] Development and Improvement of the Design of a Lightweight Mobile Robot Manipulator Using Generative Design / I. Nevliudov, V. Yevsieiev, N. Demska, H. Kostrova // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. Томі 34 (73) № 2. - 2023. - С.206-213.
- [15] Yevsieiev V. (2023) Development of a program for modeling the control of a mobile manipulation robot in the unity environment / Yevsieiev V., Starodubcev N. // Scientific Collection «InterConf», (141), P. 331-334.
- [16] A Small-Scale Manipulation Robot a Laboratory Layout Development / Yevsieiev V., Starodubcev N., Maksymova S., Stetsenko K. // International independent scientific journal, №47, 2023. P.18-28.
- [17] Yevsieiev V. Development of Architecture for Mobile Robot Control Based on Raspberry Pi Model 3 B+ / V. Yevsieiev, A. Skripkin // Scientific Horizon in the Context of Social Crises : The XI International Scientific and Practical Conference, April 6-8, 2022. – Tokyo, Japan, 2022. – P. 274–277.
- [18] Yevsieiev V. Development of the Environmental Visualization System Based on ESP32-CAM / V. Yevsieiev, O. Luchaninova // Theory and Practice of Modern Science : The III International Scientific and Theoretical Conference, 1 April 2022. – Kraków, Republic of Poland, 2022. – Vol. 1. – P. 79-81.
- [19] Розробка 3D-моделі зооморфного мобільного робота для вертикальних переміщень по металевим поверхням / І. Ш. Невлюдов, В. В. Євсєєв, Н. П. Демська, В. О. Руденко // Наука і техніка сьогодні. – 2022. – № 4(4). – С.163-174.

# Рівні Засобів ПоТ в Інформаційних Технологіях

Олена Чала, Анатолій Сливка

1. Кафедра КІТАР, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА,  
Харків, пр. Науки. 14., email: [olena.chala@nure.ua](mailto:olena.chala@nure.ua), [anatolii.slyvka@nure.ua](mailto:anatolii.slyvka@nure.ua)

**Анотація:** В тезах доповіді було проведено аналіз особливості побудови та функціонування рівні промислового Інтернету речей.

**Ключові слова:** рівень, Промисловий Інтернет речей, інформаційні технології.

## I. Вступ

Промисловий Інтернет речей (Industrial IoT, IIoT) – це один з найбільш великих сегментів Інтернету речей з точки зору кількості підключених пристроїв і ступеня корисності цих сервісів для виробництва і автоматизації підприємств.

Цей сегмент традиційно служить операційно-технологічною базою. Сюди входять апаратні і програмні засоби моніторингу фізичних пристроїв. Традиційні завдання інформаційних технологій вирішуються інакше, ніж операційно-технологічні завдання.

Операційні технології (OT) зосереджені на оцінці продуктивності, часу безвідмовної роботи, зборі даних і відповідній реакції в режимі реального часу, а також безпеки систем. Інформаційні технології спрямовані на безпеку, групування, сервіси та надання даних.

Оскільки Інтернет речей починає займати важливе місце в сфері виробництва і промисловості, світи IT і OT об'єднуються, особливо в області діагностичного обслуговування, і зможуть забезпечувати безпрецедентним обсягом даних приватні та публічні хмарні інфраструктури [1,2].

До характеристик цього сегмента відноситься необхідність надавати операційно-технологічної системи готові рішення в режимі реального часу або майже в режимі реального часу.

Це означає, що у всьому, що стосується виробничого простору, головним параметром для Інтернету речей буде час відгуку. Крім того, важливу роль будуть грати тривалість простою і безпеку.

Промисловий Інтернет речей - це один з сегментів на цьому ринку що найбільш швидко розвивається. Важливою особливістю цього напрямку є те, що він спирається на існуючі технології, тобто на апаратні і програмні засоби і може бути адаптований під них та інтегруватися та об'єднуватися з існуючими.

## II. Базові рівні технології інтернету речей

Класична архітектура IoT складається з чотирьох функціональних рівнів (рис. 1).

Найнижчий рівень (рівень сенсорів і сенсорних пристроїв) складається з об'єктів, інтегрованих із сенсорами (датчиками), які забезпечують збір і обробку інформації в реальному масштабі часу.

Наступний рівень (шлюзів і мереж) складається з конвергентної мережевої інфраструктури, яка створюється шляхом інтеграції різномірних мереж у єдину мережеву платформу.

Сервісний рівень містить певний набір послуг, які автоматизують низку технологічних і господарських операцій.

Четвертий рівень архітектури IoT включає різні типи додатків для відповідних промислових секторів і сфер діяльності [3].

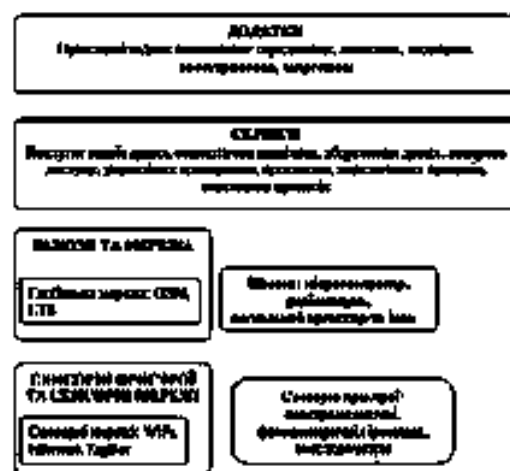


Рис.1. Архітектура IoT [3].

Саме при використанні IoT, будь-яке приміщення перетворюється на систему, яка набуває здатності розпізнавати конкретні ситуації, що відбуваються в динаміці, і відповідним чином на них реагувати.

## III. Особливості рівнів

Пристрої – це об'єкти, які фактично становлять «речі» в Інтернеті речей.

Виступаючи як інтерфейс між реальним і цифровим світами, вони можуть мати різні розміри, форми та рівні технологічної складності залежно від завдання, яке вони повинні виконувати в рамках конкретного розгортання Інтернету речей.

Незалежно від того, чи то мікрофони розміром із шпильковою голівку, чи це важкі будівельні машини, практично кожен матеріальний об'єкт (навіть живий, наприклад, тварини чи люди) можна перетворити на підключений пристрій шляхом додавання необхідного інструментарію (додаючи датчики чи приводи разом із відповідним програмним забезпеченням).

Давачі, виконавчі механізми або інші телеметричні пристрої також можуть бути самостійними розумними пристроями.

Єдине обмеження, з яким тут можна зіткнутися, – це фактичний варіант використання Інтернету речей



та його вимоги до обладнання (розмір, простота розгортання та керування, надійність, термін служби, економічна ефективність).

#### IV. Програмне забезпечення

Програмне забезпечення відповідає за реалізацію зв'язку з хмарою, збір даних, інтеграцію пристроїв, а також виконання аналізу даних у реальному часі в мережі IoT.

Більше того, це програмне забезпечення для пристроїв також забезпечує можливості на рівні додатків, щоб користувачі могли візуалізувати дані та взаємодіяти з системою IoT.

Маючи апаратне та програмне забезпечення пристрою, має бути ще один рівень, який забезпечуватиме розумні об'єкти способами та засобами обміну інформацією з рештою світу IoT.

Механізми зв'язку сильно пов'язані з апаратним та програмним забезпеченням пристрою, важливо розглядати їх як окремий рівень.

Рівень зв'язку включає як рішення фізичного підключення (стільниковий зв'язок, супутник, локальна мережа), так і конкретні протоколи, в різних Інтернету речей (ZigBee, Thread, Z-Wave, MQTT, LwM2M) [4-7].

Вибір відповідного комунікаційного рішення є однією з важливих частин у створенні кожного стека технології інтернету речей

Вибрана технологія визначатиме не лише способи надсилання та отримання даних із хмари, а й способи керування пристроями та способи їх зв'язку з пристроями сторонніх розробників.

Платформа IoT – це місце, де всі ці дані зібрані, керовані, обробляються, проаналізовані і представлені в зручному для користувача вигляді.

Таким чином, те, що робить таке рішення особливо цінним, – це не лише можливості збору даних та керування пристроями IoT, а скоріше його здатність аналізувати та знаходити корисні відомості з частин даних, які надаються пристроями через рівень комунікацій.

Існує досить багато платформ технології інтернету речей (рис.2), вибір яких залежить від вимог конкретного проекту IoT і таких факторів, як архітектура та стек технологій IoT, надійність, властивості налаштування, використовувані протоколи, апаратна агностика, безпека та вартість ефективність.

Варто також зазначити, що платформи можуть бути встановлені як локально, так і в хмарі.

device hardware device software communications platform

Рис.2. Базові рівні технології Інтернету речей

#### V. Рішення для підключення в стеку технологій IoT

Скільки існує можливих реальних застосувань технологій IoT, так само не бракує рішень для підключення.

Залежно від специфікацій конкретного випадку використання Інтернету речей, кожен варіант зв'язку може запропонувати різні сценарії включення послуг, маючи компроміс між споживанням енергії, діапазоном і пропускнуою здатністю.

Наприклад, якщо ви будете розумне виробництво, можливо, інтегрувати датчики температури в приміщення та контролер опалення з різними портативними гаджетами, щоб ви могли дистанційно контролювати температуру на кожному промисловому об'єкті чи процесі, регулювати параметри режимі реального часу відповідно до поточної потреби. У такому випадку рекомендованим рішенням буде мережевий протокол IPv6 на основі IP під назвою Thread, спеціально розроблений для середовища домашньої автоматизації.

З огляду на таку множинність і різноманітність стандартів і протоколів зв'язку, може виникнути питання про фактичну потребу в розробці нових рішень, в той час як існують деякі добре перевірені протоколи Інтернету, які використовуються вже десятиліттями. Причина цього полягає в тому, що існуючі Інтернет-протоколи, такі як протокол керування передачею/протокол Інтернету (TCP/IP), часто недостатньо ефективні та надто споживають електроенергію, щоб мати можливість ефективно працювати в нових програмах технології Інтернету речей.

Також необхідно зазначити, що існують альтернативні Інтернет-протоколи (рис.3), спеціально призначені для використання системами IoT. Вони розділяються за діапазоном радіочастот, досягнутим кожним із рішень: радіорішення IoT для короткого радіусу дії, рішення середнього радіусу дії та рішення для глобальних мереж далекого радіусу дії.

Добре відпрацьована технологія підключення на короткій відстані, Bluetooth вважається ключовим рішенням, особливо для майбутнього ринку електроніки, такого як датчики геолокації Протокол Bluetooth Low-Energy (BLE), розроблений з урахуванням економічної ефективності та зниження енергоспоживання, вимагає дуже мало енергії від пристрою. Однак це має компроміс: під час передачі більших обсягів даних BLE може бути не найефективнішим рішенням.

Вузькосмуговий Інтернет речей, продукт існуючих технологій 3GPP, є абсолютно новим стандартом радіотехнологій, який забезпечує надзвичайно низьке енергоспоживання забезпечує підключення з потужністю сигналу прибіл. на 23 дБ нижче, ніж у випадку 2G. Протокол використовує існуючу мережеву інфраструктуру, що забезпечує не тільки глобальне покриття в мережах LTE, але й гарантовану якість сигналу.

LTE-Cat M1 з'єднує ITNA і M2M пристрої. Будучи сумісним з існуючою мережею LTE, CAT M1 не вимагають носіїв, щоб побудувати нову інфраструктуру реалізувати його.

У порівнянні з NB-IoT, LTE Cat M1 виявляється ідеальним для мобільних пристроїв, оскільки його

передача між стільниковими сайтами значно краща і дуже схожа на високошвидкісну LTE.

LoRaWAN – це малопотужний протокол глобальної мережі великого діапазону, оптимізований для низького споживання енергії та підтримки великих мереж з мільйонами пристроїв. Спрямований на додатки глобальної мережі (WAN), LoRaWAN призначений для забезпечення малопотужних глобальних мереж функціями, необхідними для підтримки недорогого, мобільного та безпечного двостороннього зв'язку в рамках IoT, M2M, розумного міста та промислових додатків.

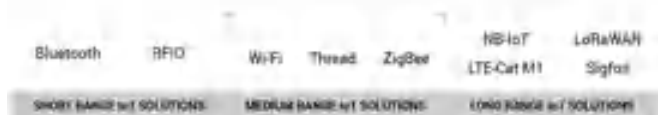


Рис.3. - Альтернативні Інтернет-протоколи IoT

Концепція Sigfox полягає в тому, щоб забезпечити ефективне рішення підключення для малопотужних додатків M2M, які вимагають низьких рівнів передачі даних, для яких діапазон Wi-Fi занадто короткий, а діапазон стільникового зв'язку надто дорогий і надто енергоємний [8-11].

Sigfox використовує UNB, технологію, яка дозволяє обробляти низькі швидкості передачі даних від 10 до 1000 біт на секунду.

Споживаючи до 100 разів менше енергії в порівнянні з рішеннями стільникового зв'язку, він забезпечує типовий час очікування 20 років для аккумулятора ємністю 2,5 А.

Пропонуючи надійну, енергоефективну та масштабовану мережу, здатну підтримувати зв'язок між тисячами тисяч пристроїв, що живляться від батарей, на площах у кілька квадратних кілометрів, Sigfox виявляється придатним для різних додатків M2M, включаючи розумне вуличне освітлення, інтелектуальні лічильники, монітори пацієнта, безпеку пристроїв та датчики навколишнього середовища.

Наразі Sigfox використовується у все більшій кількості технологічних рішень IoT.

## VI. Висновки

Системи інформаційно-комунікаційні технології з використанням технологічних рішень IoT вирішують великий прошарок проблем сьогодення, які можуть бути використані у різних галузях промисловості, виробництва, машинобудування, енергетиці, безпеці та екології.

Правильне поставлене завдання потребує детального аналізу для підбору найефективніших рішень з використанням технологічних рішень IoT.

Використання технологічних рішень IoT може суттєво знизити матеріальні, часові та фізичні витрати у багатьох сферах народного господарства і виробництва.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

[1] Pavithra D., Balakrishnan R. IoT based Monitoring and control system for home automation. Proceedings

of the Global conference on communication technologies (GCCT). 2015. pp. 169-173.

[2] Левченко Є. О. Сенсорне керування автомобілем [Текст] / Мажара А. Є., Васильченко О. С., Чала О. О., // Синергетика, мехатроніка, телематика дорожніх машин і систем у навчальному процесі та науці. Збірник наукових праць за матеріалами II міжнародної науково-практичної конференції. – Харків, ХНАДУ, 2018. – 184 с

[3] Самойленко М.Ю. Принципи застосування технології Інтернет речей у сучасному світі техніки. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. 2020. Том 31 (70). ч. 1. № 6. С. 142-148.

[4] Бронніков А.І., Цимбал О.М., Фомовський Ф.М., Інтелектуальні засоби в системі керування виробничим агентом / Технологія приборостроєння. Харків, 2014, № 2, С. 26 - 30.

[5] Бабійчук В.С., Шуміло І.А. Інтернет речей: нові напрями модернізації Законодавства. Експерт:парадигми юридичних наук і державного управління. 2020. № 6(12). С. 159-166

[6] O. I. Filipenko, O. V. Sychova and O. O. Chala, "The Autoconvolution Method Use for Positioning Photonic Crystal Fibers," 2019 IEEE 8th International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers (CAOL), Sozopol, Bulgaria, 2019, pp. 429-432, doi: 10.1109/CAOL46282.2019.9019558.

[7] Гайдукевич С.В., Семенова Н.П., Леськів Я.А. Концепції «Smart технологій» та їх застосування в приміщеннях закритого ґрунту. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. 2022. Том 33 (72) № 2. С. 78-83

[8] Шостенко С. С. Архітектура програмного забезпечення для супроводження автоматизованих систем оповіщення на виробництві / С. С. Шостенко, О. О. Чала // Виробництво & Мехатронні Системи 2022 : зб. тез. доп. VI-ої Міжнародної конференції, 21- 22 жовтня 2022 р. – Харків, 2022. – С. 115-117.

[9] Ковівчак Я.В., Дубук В.І., Слюсар В.В. Розробка інформаційної системи управління електроспоживанням у розумному будинку. Науковий журнал «Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво». Луцьк, 2021. Вип. № 42. С. 58-64.

[10] Гіль А. Промислові інтерфейси та протоколи передачі даних інтегрованих систем для автоматизованого управління в умовах Industry 4.0 / Гіль А., Чала О., Филипенко О. // Виробництво & Мехатронні Системи 2021: матеріали V-ої Міжнародної конференції, Харків, 21-22 жовтня 2021 р.: Харків, 2021. С.127-30.

[11] ZHARIKOVA, I., NEVLIUDOVA, V., & CHALA, O. (2023). FLEXIBLE PRINTED STRUCTURES QUALITY MODELS FOR MOBILE ROBOT PLATFORM. Journal of Natural Sciences and Technologies, 1(1), 77–84.

[12] Цимбал О.М., Бронніков А.І. Інтернет роботизованих речей: огляд концепції //Матеріали 3-ї міжнародної науково-практичної конференції «Computer and informational systems

and technologies». 23-24 квітня 2019 р. – Харків:  
ХНУРЕ, 2019. –С. 95-96.

# Розроблення елементів обліку обладнання інформаційних ERP-систем

Чала О., Дон Д.

1. Кафедра КІТАР, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА,  
Харків, пр. Науки. 14., email: [olena.chala@nure.ua](mailto:olena.chala@nure.ua), email: [dmytro.don@nure.ua](mailto:dmytro.don@nure.ua)

**Анотація:** В даному матеріалі наведено інформацію щодо роботи з розроблення елементів обліку обладнання інформаційної ERP-системи.

**Ключові слова:** розроблення, елементи обліку обладнання, інформаційна ERP-система, інтегровані системи.

## I. ВСТУП

Запити на постійне удосконалення та оптимізацію бізнес-процесів надходять до підприємств з кожним днем. В умовах сучасної глобальної конкуренції ефективно управління ресурсами, особливо обладнанням, стає ключовою складовою успіху. Саме в цьому контексті надзвичайно важливим стає впровадження та розробка елементів обліку обладнання в інформаційних ERP-системах [1].

Ця доповідь присвячена аналізу та практичній розробці елементів обліку обладнання в рамках інтегрованих ERP-систем. Ми розглянемо визначення концепції ERP-систем, їх роль в підприємстві та основні функції.

Основний акцент буде зроблено на обліку обладнання, який є важливою складовою управління активами підприємства [2-4].

У доповіді розглянуть такі ключові аспекти:

1. Вимоги до систем обліку обладнання.
2. Етапи розроблення елементів обліку обладнання, включаючи аналіз потреб підприємства, вибір відповідних засобів, структуру бази даних та інтерфейс користувача.
3. Переваги та виклики, пов'язані з розробкою інтегрованих систем обліку обладнання.

Також, ми наведемо приклад математичної моделі, яка буде відображати роботу елементів обліку обладнання в інформаційній ERP-системі.

Метою цієї доповіді є надання інсайтів та рекомендацій щодо розроблення та впровадження систем обліку обладнання в рамках інформаційних ERP-систем.

Відповідно до цього, ми сподіваємося, що ця інформація стане корисною для всіх, хто прагне покращити управління обладнанням та оптимізувати роботу свого підприємства.

## II. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ERP-СИСТЕМ

В сучасному бізнес-середовищі ефективно управління ресурсами та оптимізація бізнес-процесів є важливими завданнями для підприємств будь-якого масштабу. Інформаційні системи планування ресурсів підприємства (ERP) стали ключовим інструментом для досягнення цих

цілей. У цьому розділі ми розглянемо основні поняття та технології, пов'язані з ERP-системами.

ERP-системи, або системи планування ресурсів підприємства, є інтегрованими програмними комплексами, спрямованими на автоматизацію та оптимізацію ключових бізнес-процесів. Вони об'єднують в собі різні функціональні модулі, які дозволяють підприємствам управляти фінансами, ланцюгом постачання, виробництвом, ресурсами людського капіталу та іншими аспектами їх діяльності.

ERP-системи відіграють важливу роль у сучасному підприємстві. Вони допомагають забезпечити інтегрований погляд на управління ресурсами, дозволяють вдосконалити бізнес-процеси, знизити витрати та підвищити продуктивність. Завдяки їм, підприємства можуть оперативно реагувати на зміни на ринку та приймати обґрунтовані стратегічні рішення.

ERP-системи включають низку ключових функціональних можливостей:

- Управління фінансами та бухгалтерією.
- Керування виробництвом та ланцюгом постачання.
- Управління складами та запасами.
- Управління замовленнями та обслуговуванням клієнтів.
- Аналітика даних та звітність.

Ці функції дозволяють підприємствам здійснювати комплексний контроль над своєю діяльністю та приймати обґрунтовані стратегічні рішення [3].

## III. ОБЛІК ОБЛАДНАННЯ В ERP-СИСТЕМІ

Обладнання є однією з ключових активних складових будь-якого підприємства, незалежно від його галузі. Для забезпечення ефективного функціонування і зниження ризиків пов'язаних з ним, необхідно вести точний облік обладнання. Це означає, що управлінці мають доступ до актуальних даних про стан, ресурси та історію використання обладнання. Уведення обліку обладнання в ERP-систему робить цей процес більш ефективним та об'єднує дані для прийняття управлінських рішень.

Ефективна система обліку обладнання в ERP-системі повинна враховувати різні вимоги підприємства. Серед них:

- Моніторинг стану обладнання: включаючи технічний стан, робочий час та можливі регулярні обслуговування.

- Управління запасами та запасними частинами: контроль за наявністю та використанням запасних частин.

- Розрахунок витрат та амортизації: облік витрат на обслуговування, ремонт та амортизація обладнання.

Один з ключових аспектів обліку обладнання в ERP-системі - це можливість інтеграції з іншими модулями, такими як фінанси, логістика і управління запасами. Це дозволяє автоматизувати процеси обліку, планування та прийняття управлінських рішень на більш вищому рівні. Інформація про обладнання може бути використана для ефективного розподілу ресурсів, прогнозування витрат і забезпечення безперебійності виробничих процесів [4].

#### IV. ЕТАПИ РОЗРОБЛЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ОБЛІКУ ОБЛАДНАННЯ

##### 4.1 Аналіз потреб підприємства

Перший крок у розробці системи обліку обладнання - це ретельний аналіз потреб підприємства. Необхідно з'ясувати, які саме дані і параметри обладнання важливі для діяльності. Це можуть бути дані про технічний стан, витрати на обслуговування, історію ремонтів, а також дані, необхідні для планування запасів та підтримки виробничих процесів.

4.2 Вибір відповідних засобів для обліку обладнання

Після аналізу потреб слід вибрати відповідні засоби для обліку обладнання. Це можуть бути ERP-системи з вбудованим модулем обліку обладнання або спеціалізовані програмні рішення. Важливо враховувати сумісність інтегрованих засобів із загальною ERP-структурою підприємства та їхню здатність відповідати конкретним вимогам вашої організації.

4.3 Розроблення структури бази даних для обліку обладнання

Побудова ефективної бази даних - це ключовий етап в розробці системи обліку обладнання. Необхідно визначити, які таблиці, поля і зв'язки будуть включені в базу даних. Це дозволить ефективно зберігати та оновлювати інформацію про обладнання та забезпечити швидкий доступ до неї [5].

4.4 Розробка інтерфейсу користувача для введення та моніторингу даних

Ще одним важливим аспектом є розробка зручного інтерфейсу користувача для введення та моніторингу даних про обладнання. Користувачам повинно бути легко вносити і витягувати інформацію. Розробка інтерфейсу, який враховує потреби різних категорій користувачів, допоможе покращити продуктивність та забезпечити точність даних [6].

4.5 Тестування та впровадження розроблених елементів обліку обладнання

Після розробки системи обліку обладнання необхідно провести тестування, щоб переконатися в її працездатності та відповідності вимогам.

Після успішного тестування систему можна впровадити на підприємстві. Важливо надати навчання персоналу та забезпечити підтримку під час переходу на нову систему.

#### V. ПЕРЕВАГИ ТА ВИКЛИКИ, ПОВ'ЯЗАНІ З РОЗРОБКОЮ ІНТЕГРОВАНИХ СИСТЕМ ОБЛІКУ ОБЛАДНАННЯ

5.1 Створення інтегрованої системи обліку обладнання в рамках ERP-системи має численні переваги для підприємства. Деякі з них включають:

- Збільшення ефективності: Інтегрована система дозволяє отримувати однорідну інформацію та здійснювати більш точний облік обладнання.

- Спрощення процесів: Зменшення ручних операцій і автоматизація обліку спрощують роботу персоналу.

- Зменшення ризиків: Можливість вчасно виявляти проблеми та реагувати на них допомагає запобігти аваріям та витратам.

- Підвищення продуктивності: Інтегрована система дозволяє більш ефективно використовувати ресурси обладнання та раціонально планувати робочий час.

- Забезпечення обґрунтованих стратегічних рішень: Доступ до даних про обладнання допомагає приймати обґрунтовані стратегічні рішення щодо його обслуговування та планування ресурсів.

5.2 Незважаючи на численні переваги, розробка інтегрованих систем обліку обладнання також стикається з деякими викликами:

- Складність інтеграції: Інтеграція системи обліку обладнання з іншими модулями ERP може бути складною та вимагати часу та зусиль.

- Вартість розробки та впровадження: Розробка інтегрованої системи може бути дорогою, і потрібні витрати на навчання персоналу та підтримку.

- Потреба в зміні процесів: Інтегрована система може вимагати змін у внутрішніх процесах підприємства, що може бути викликом для персоналу.

- Питання безпеки даних: Збільшена кількість інформації в системі обліку обладнання потребує ретельного контролю та захисту для запобігання втраті та несанкціонованому доступу.

##### 5.3 Поради щодо подолання викликів

Для успішного впровадження інтегрованої системи обліку обладнання важливо:

- Провести детальний аналіз вимог та процесів: Це допоможе визначити точні потреби та уникнути непотрібних функцій.

- Планувати бюджет та ресурси: Необхідно заздалегідь визначити фінансові ресурси та необхідність підготовки персоналу.

- Забезпечення зміцнення безпеки даних: Необхідна розробка та виконання стратегії захисту інформації про обладнання.

- Постійне вдосконалення системи: Після впровадження слід постійно оновлювати та вдосконалювати систему з урахуванням змін у бізнес-середовищі та технологічних можливостей.

## VI. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РОБОТИ СИСТЕМИ ОБЛІКУ ОБЛАДНАННЯ В ERP-СИСТЕМІ

Дану роботу доречно буде описати у вигляді математичної моделі, яка відображає роботу елементів обліку обладнання в інформаційній ERP-системі, де [2-7]:

E - множина обладнання, яке потрібно обліковувати.

T - множина періодів часу (наприклад, днів, місяців або років), протягом яких проводиться облік обладнання.

C - множина характеристик кожного елемента обладнання (наприклад, технічний стан, вартість, дата останнього обслуговування тощо).

U - множина користувачів системи обліку обладнання.

M - множина функцій або операцій, доступних користувачам системи (наприклад, додавання нового обладнання, оновлення даних, генерація звітів тощо).

Тоді математична модель може бути представлена наступним чином:

### 6.1 Початкові умови:

E0: Початковий набір обладнання.

C0: Початкові характеристики обладнання.

T0: Початковий період обліку.

### 6.2 Функція оновлення обладнання 1:

$$Et + 1 = \text{Оновлення}(Et, Ct, Tt, U) \quad (1)$$

Ця функція визначає, як обладнання оновлюється в кожний період часу відповідно до дій користувачів та змін у характеристиках.

### 6.3 Функція доступу користувача 2:

$$\text{Доступ}(Ui, Mi) \rightarrow \text{Результат} \quad (2)$$

Дана функція визначає, які операції (функції) можуть виконувати користувачі  $U_i$  у системі обліку обладнання та який буде результат кожної операції.

### 6.4 Функція генерації звітів 3:

$$\text{Звіт}(Et, Ct, Tt) \rightarrow \text{Звіт} \quad (3)$$

Ця функція визначає, як система може генерувати звіти на основі інформації про обладнання, його характеристик та періоду обліку.

## VII. ВИСНОВКИ

В результаті дослідження та аналізу для розроблення елементів обліку обладнання в інформаційній ERP-системі, ми прийшли до наступних висновків:

- Ефективний облік обладнання є ключовим фактором успіху підприємства. З використанням інтегрованої системи обліку обладнання в рамках ERP-системи підприємство може підвищити продуктивність, знизити витрати та забезпечити точний контроль над своїм обладнанням.

- Математичні моделі можуть допомагати оптимізувати роботу системи обліку обладнання.

Запропонована математична модель дозволяє представити процес обліку обладнання у вигляді формальних правил та функцій, що спрощує аналіз та оптимізацію цього процесу.

- Правильне планування та інтеграція є ключовими чинниками успішного впровадження системи обліку обладнання. Підприємства повинні завчасно підготувати план впровадження, визначити потреби та ресурси, а також врахувати інтеграцію з іншими модулями ERP.

- Навчання персоналу та забезпечення безпеки даних - це критичні аспекти. Навчання персоналу користуватися системою та забезпечення безпеки даних про обладнання є важливими складовими успішного впровадження та ефективної роботи системи.

- Постійна оптимізація та підтримка системи допомагають забезпечити її актуальність та ефективність в майбутньому. Після впровадження системи обліку обладнання, важливо постійно вдосконалювати її з урахуванням змін у бізнес-середовищі та технологічних можливостях.

Загальний висновок проведеної роботи полягає у тому, що розробка інтегрованих систем обліку обладнання в інформаційній ERP-системі може відкрити нові можливості для підприємств та допомогти вдосконалити управління обладнанням. З правильним плануванням, інтеграцією та підтримкою ці системи можуть стати надійним інструментом для досягнення успіху в сучасному бізнес-середовищі.

Дякуємо за увагу.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Моделювання та реінжиніринг бізнес-процесів: підручн. М 74 С.В. Козир, В.В. Слесарев, С.А. Ус, Т.В. Хом'як; М-во освіти і науки України; Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро: НТУ «ДП», 2022. – 163 с.
- [2] Сусіденко В. Т. Інформаційні системи і технології в обліку. [текст] навч. посіб. / В. Т. Сусіденко. – К.: «Центр учбової літератури», 2016. – 224 с
- [3] Каштан В.Ю., Іванов Д.В. Конспект лекцій з дисципліни “Бази даних в інформаційних системах”. Для студентів галузі знань 12 “Інформаційні технології” спеціальності 126 “Інформаційні системи та технології” – Д.: НТУ «ДП», 2020. – 58 с.
- [4] Невлюдов І. Ш. Трансфер технологій у сучасній науці, освіті та виробництві в умовах четвертої промислової революції «ІНДУСТРІЯ 4.0» / Невлюдов І. Ш., Чала О. О., Олександров Ю. М. // Сучасний рух науки: тези доп. VIII міжнародної науково-практичної інтернетконференції, 3-4 жовтня 2019 р. – Дніпро, 2019. – Т.2 С.: 604-608
- [5] Гребеннік І. В., Романова Т. Є., Тевяшев А. Д., Яськов Г. М. Методи підтримки прийняття рішень: Навч. посібник. – Харків: ХНУРЕ, 2010. – 128 с.
- [6] Гіль А. Промислові інтерфейси та протоколи передачі даних інтегрованих систем для автоматизованого управління в умовах Industry 4.0 / Гіль А., Чала О., Филипенко О. // Виробництво &

Мехатронні Системи 2021: матеріали V-ї Міжнародної конференції, Харків, 21-22 жовтня 2021 р.: Харків, 2021. С.127-30.

- [7] Шостенко С. С. Архітектура програмного забезпечення для супроводження автоматизованих систем оповіщення на виробництві / С. С. Шостенко, О. О. Чала //Виробництво & Мехатронні Системи 2022 : зб. тез. доп. VI-ї Міжнародної конференції, 21-22 жовтня 2022 р. – Харків, 2022. – С. 115-117.

# Модернізація модуля керування розсувними конструкціями виробничого приміщення з використанням IoT

Бронніков А.Г.<sup>1</sup>, Чернишов Д.Г.<sup>2</sup>.

1. Кафедра КІТАМ, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА, Харків, пр. Науки. 14., email: artem.bronnikov@nure.ua
2. Кафедра КІТАМ, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА, Харків, пр. Науки. 14., email: denys.chernyshov@nure.ua

**Анотація:** В даній роботі розглянуто питання модернізації модуля керування розсувними конструкціями виробничого приміщення з використанням технології IoT та Arduino в якості плати керування. Використання IoT-технологій для задачі управління розсувними конструкціями вносить важливі питання безпеки та захисту даних, що стають залежними від надійності та функціонування виробничого процесу.

**Ключові слова:** розробка, розсувні системи, технологія Internet of Things (IoT).

## I. Вступ

Сучасний світ промисловості характеризується непередбачуваною динамікою та безперервним стремлінням до вдосконалення процесів та підвищення продуктивності. У цьому контексті, однією з найважливіших сфер, яку необхідно переглянути та оптимізувати, є управління розсувними конструкціями виробничих приміщень. Ця сфера стає ключовою для забезпечення ефективності та зручності виробництва [1]. Однак, із швидким розвитком технологій, зокрема, Інтернету речей (IoT), відкривається унікальна можливість революціонізувати управління цими конструкціями та забезпечити їхню автоматизацію на основі платформи Arduino.

Основний напрямок роботи полягає в можливостях та перевагах модернізації модуля керування розсувними конструкціями виробничого приміщення на основі платформи Arduino з використанням технологій Інтернету речей, а також впровадження сучасних технологій в процес управління розсувними конструкціями, оцінити їхній вплив на продуктивність та безпеку і дослідити можливості оптимізації робочого середовища [2].

Ця задача стає надзвичайно актуальною в сучасному підприємницькому середовищі, де кожна мить та кожен ресурс мають вагому цінність. Модернізація модуля керування розсувними конструкціями на базі Arduino та IoT може призвести до значних переваг, таких як зменшення витрат, підвищення продуктивності та покращення умов праці. Цей вступ визначає перед нами завдання розглядати перспективний шлях до досягнення оптимізації виробничого середовища, що надає підприємствам конкурентні переваги у сучасному світі виробництва.

## II. ВПРОВАДЖЕННЯ ІОТ-ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ РОЗСУВНИМИ КОНСТРУКЦІЯМИ

Сучасні розсувні конструкції представляють собою важливий компонент виробничих приміщень та складів, які допомагають підприємствам оптимізувати їхнє просторове розташування та раціонально використовувати обмежену площу. Вони відіграють рішучу роль у забезпеченні продуктивності та безпеки виробничих процесів.

Значущість розсувних конструкцій у виробничому середовищі проявляється у кількох ключових аспектах:

- функціональність і регулювання простору: розсувні конструкції надають підприємствам можливість ефективно організувати робочі простори, дозволяючи змінювати їх розмір та конфігурацію відповідно до потреб виробництва. Це дозволяє мінімізувати втрати простору та максимізувати його використання;

- забезпечення безпеки: розсувні конструкції грають ключову роль у забезпеченні безпеки працівників та матеріалів виробничого процесу. Вони можуть служити бар'єром між небезпечними зонами та робочими областями, а також дозволяють швидко втручатися в ситуації, коли це необхідно;

- збереження енергії: деякі сучасні розсувні конструкції оснащені технологіями енергозбереження, які допомагають підприємствам зменшити витрати на опалення та охолодження приміщень, залишаючи невикористані зони відокремленими від робочих зон;

- відповідність стандартам: у багатьох галузях існують строгі стандарти щодо безпеки та регулювань. розсувні конструкції допомагають підприємствам відповідати цим вимогам та представити доступ до різних зон.

Загалом, розсувні конструкції стали невід'ємною частиною сучасних виробничих приміщень і відіграють стратегічну роль у забезпеченні їхньої функціональності та продуктивності. Таким чином, вдосконалення управління цими конструкціями за допомогою сучасних технологій, зокрема IoT, є актуальним завданням, яке може призвести до значних переваг для підприємств, розсувні конструкції можуть бути підключені до мережі Інтернет речей, що відкриває перед нами можливості



віддаленого керування та моніторингу обладнання та розсувних конструкцій в реальному часі, що сприяє оптимізації виробничих процесів і зменшенню витрат.

Сенсори IoT дозволяють стежити за станом обладнання та передбачати можливі відмови чи поломки, попереджаючи невідкладні ремонти та підвищуючи надійність системи. Збір та аналіз даних в реальному часі надає можливість приймати інформовані рішення та розробляти стратегії виробництва [3].

Загалом, використання IoT для управління розсувними конструкціями виробничих приміщень є ключовим чинником у сучасному виробництві, що дозволяє підприємствам підвищити продуктивність, зменшити витрати та покращити якість продукції. Розвиток цих технологій обіцяє ще більше можливостей і переваг для майбутнього управління розсувними конструкціями.

### III. БЕЗПЕКА ТА ЗАХИСТ ДАНИХ У КОНТЕКСТІ ІОТ-ВИРІШЕНЬ ДЛЯ ВИРОБНИЧИХ ПРИМІЩЕНЬ

Використання IoT-вирішень для управління розсувними конструкціями виробничих приміщень вносить важливі питання безпеки та захисту даних, що стають залежними від надійності та нерухомості функціонування виробничого процесу. Такі як:

– кібератаки та несанкціонований доступ: завдяки підключенню до мережі Інтернет речей, системи керування розсувними конструкціями можуть стати об'єктом кібератак. Це включає в себе спроби несанкціонованого доступу до системи, ведення вірусів або зловживання правами доступу [4];

– перехоплення та злам зв'язку: зловмисники можуть намагатися перехопити комунікацію між IoT-пристроями та серверами, що може призвести до витоку конфіденційних даних або навіть контролю над системою. Нападники можуть використовувати IoT-пристрої для відправлення спаму, фішингових повідомлень або розсилки вірусів;

– неактуальне програмне забезпечення: багато IoT-пристроїв мають обмежені ресурси та можуть бути вразливими до атак, якщо не отримують регулярних оновлень і вдосконалень вони можуть бути використанні зловмисниками.

Щоб зменшити ризики кібератак та несанкціонованих доступів можна використовувати:

– шифрування: всі дані, які передаються між IoT-пристроями та серверами, мають бути зашифрованными для захисту від перехоплення та читання третіми особами;

– аутентифікація та авторизація: для доступу до системи потрібно встановити суворі процедури аутентифікації та авторизації, щоб перешкоджати несанкціонованому входу.

Для запобігання перехоплення та зламу зв'язку можна використовувати моніторинг, резервне копіювання, ізоляція мережі та створення білих списків.

Моніторинг та виявлення загроз. Важливо мати системи моніторингу, які виявляють незвичайну

активність та можливі загрози та сповіщають адміністраторів.

Резервне копіювання. Регулярне створення резервних копій даних допомагає відновити інформацію у випадку її втрати або пошкодження.

Ізоляція мереж. Централізована мережа IoT повинна бути відокремлена від основної корпоративної мережі для запобігання несанкціонованому доступу до інших систем.

Створення білих списків. Дозволити доступ лише відомим та довіреним пристроям та користувачам, створюючи білі списки для затвердження підключення.

Важливо постійно оновлювати програмне забезпечення та встановлювати нові патчів для виправлення виявлених вразливостей, це допомагає утримувати систему в безпеці [5].

В сучасному світі, де IoT знаходить широке застосування в виробництві, безпека та захист даних стають критично важливими аспектами. Застосування вищезазначених стратегій та заходів допомагає зменшити ризик і забезпечує надійну захищеність виробничих IoT-систем.

### IV. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ

Основна ідея полягає у використанні математичних виразів для відображення впливу впровадження IoT-технологій на показники ефективності та зручності управління розсувними конструкціями виробничого приміщення [6].

Ефективність виробництва ( $E_f$ ) може бути виражена як функція від таких параметрів:

- кількість розсувних конструкцій ( $N$ );
- час управління однією розсувною конструкцією без використання IoT ( $T_1$ );
- час управління однією розсувною конструкцією з використанням IoT ( $T_2$ ).

$$E_f = \left(\frac{T_1}{T_2}\right) * N \quad (1)$$

Дана формула відображає, як швидкість управління розсувними конструкціями змінюється при впровадженні IoT. Чим більше значення  $E_f$ , тим ефективніше використовується час.

Зручність управління ( $C$ ) може бути оцінена як сума показників зручності для кожної розсувної конструкції:

- зручність без використання IoT ( $C_1$ );
- зручність з використанням IoT ( $C_2$ ).

$$C_N = \sum C_1 + \sum C_2 \quad (2)$$

де  $\Sigma$  вказує на суму значень для всіх розсувних конструкцій.

Ця модель дозволяє порівняти ефективність та зручність управління розсувними конструкціями до і після впровадження IoT.

Для розширення математичної моделі, яка відображає вплив впровадження IoT-технологій на управління розсувними конструкціями виробничого приміщення, можна додати додаткові параметри та

фактори, які впливають на ефективність та зручність управління:

– швидкість IoT-з'єднання (S): представимо швидкість IoT-з'єднання як параметр, що впливає на час передачі даних та відповідь системи. Нехай S вимірюється в бітах на секунду (біт/с);

– вартість впровадження IoT (C<sub>i</sub>): введемо вартість встановлення IoT-системи як вартість в доларах (USD);

– надійність IoT-системи (R): представимо надійність як ймовірність безвідмовної роботи IoT-системи, де R є значенням від 0 до 1, де 1 відповідає повній надійності, а 0 – повній ненадійності;

– віддаленість розсувних конструкцій (D): введемо відстань між розсувними конструкціями як величину, вимірювану в метрах (м);

– потужність IoT-пристроїв (P): виразимо потужність пристроїв IoT у ваттах (Вт);

– часовий горизонт аналізу (T): визначимо часовий горизонт аналізу у днях (дні).

Тепер можна оновимо математичну модель:

Ефективність виробництва (E<sub>f</sub>): Ми можемо оновити формулу для ефективності, враховуючи швидкість IoT-з'єднання:

$$E_f = \left( \frac{F_i}{T_i + D/S} \right) * N \quad (3)$$

де D/S визначає час затримки через IoT-з'єднання на відстані D.

Зручність управління (C): Ми можемо оновити формулу для зручності, додавши параметр вартості та враховуючи надійність:

$$C_N = \sum C_1 + \sum C_2 - C_i * (1 - R) \quad (4)$$

де  $C_i * (1 - R)$  відображає витрати на впровадження IoT, зменшені на величину, яка залежить від надійності системи.

Таким чином, вдосконалена математична модель враховує додаткові параметри, що впливають на ефективність та зручність управління розсувними конструкціями виробничого приміщення після впровадження IoT-технологій.

## V. Висновки

Впровадження IoT-технологій розширює горизонти можливостей і допомагає перетворити традиційні виробничі процеси на більш продуктивні, безпечні та ефективні.

Сенсори IoT та системи моніторингу дозволяють збирати важливі дані в реальному часі, що надає можливість для прийняття інформованих рішень та запобігання можливим поломкам та відмовам обладнання. Віддалене керування та моніторинг роблять виробничий процес більш гнучким та адаптивним.

Підвищення продуктивності, зменшення витрат, покращення якості продукції та підвищення безпеки працівників – це лише частина переваг, які вносить IoT в управління розсувними конструкціями. Розширення можливостей IoT може відкрити нові шляхи до інновацій та конкурентної переваги на ринку.

Однак разом зі всіма перевагами, важливо також звертати належну увагу до захисту даних та безпеки системи в контексті IoT. Застосування відповідних

заходів безпеки є невід'ємною частиною успішної модернізації.

Загалом, модернізація модуля керування розсувними конструкціями за допомогою IoT є важливим кроком у розвитку виробництва та створенні більш продуктивного та конкурентоспроможного підприємства. Такі інновації відкривають нові можливості для підприємств та допомагають їм залишатися на передовому ринку.

Математична модель, яку ми розробили, дозволяє систематично оцінити вплив впровадження IoT на виробничий процес. Для цього ми використовуємо параметри, такі як кількість розсувних конструкцій, час управління до та після впровадження IoT, швидкість IoT-з'єднання, вартість впровадження, надійність системи, відстань між конструкціями, потужність IoT-пристроїв і часовий горизонт аналізу.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Інтелектуальні системи управління: Експертні системи – основи проектування та застосування в системах автоматизації [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Л. Д. Ярошук. – Електронні текстові дані. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 136с.
- [2] Економіка галузевих ринків: Навчально-методичний комплекс для студентів спеціальності «051 Економіки», освітніх програм «Економіка та економічна політика», «Економіка та право», «Економіка підприємства» / Упорядники Ігнатюк А.І., Колоша В.В., Коваленко О.Я.– К., 2018. – 44 с.
- [3] Технології інтернету речей. Навчальний посібник [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології», спеціалізація «Інформаційне забезпечення робототехнічних систем» / Б. Ю. Жураковський, І.О. Зенів; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 12,5 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 271 с.
- [4] Secure Channel Communication between IOT Devices and Computers / H. Kata et al. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). 2023.
- [5] Smith, L. (2021). Cyber Curiosity: A Beginner's Guide to Cybersecurity – How to Protect Yourself in the Modern World. New Degree Press
- [6] Математичні моделі та новітні технології управління Конспект лекцій дисципліни «Математичне моделювання» для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»/ Упоряд. В.В. Безкоровайний. – Харків: ХНУРЕ, 2018. – 120 с.

# Розроблення системи інтелектуального керування кондиціонуванням виробничого приміщення з використанням технології IoT

Бронніков А.Г.<sup>1</sup>, Ницета В.Є.<sup>2</sup>

1. Кафедра КІТАМ, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА, Харків, пр. Науки. 14., email: artem.bronnikov@nure.ua
2. Кафедра КІТАМ, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА, Харків, пр. Науки. 14., email: viacheslav.nyshcheta@nure.ua

**Анотація:** Представлено інформацію з розроблення системи інтелектуального керування кондиціонуванням виробничого приміщення з використанням технології IoT. В якості технологій для розроблення системи було обрано технологію Internet of Things, а також плату керування Arduino для збору та обробки даних з сенсорів у реальному часі для прийняття найкращих управлінських рішень, забезпечуючи комфорт та ефективність роботи системи.

**Ключові слова:** розробка, системи інтелектуального керування, кондиціонування виробничого приміщення, Arduino, технологія Internet of Things (IoT).

## I. ВСТУП

Сучасні виробничі приміщення стикаються з ростом вимог до оптимальних умов для виробничих процесів та зменшення витрат на кондиціонування. У цьому контексті розроблення системи інтелектуального керування кондиціонуванням виробничого приміщення є актуальною та стратегічно важливою задачею [1].

Метою даного дослідження є розроблення системи, яка б забезпечувала оптимальні умови для виробничих процесів у виробничому приміщенні. Для досягнення цієї мети, ми використовуємо передову технологію Інтернету речей (IoT) та інтегруємо платформу Arduino в систему керування (рис. 1).



Рисунок 1 – Загальна концепція інтернет речей

Актуальність цієї задачі полягає в тому, що промисловість нині переживає період переосмислення стандартів і вимог до робочого середовища. Наявність комфортних умов у виробничому приміщенні впливає на ефективність праці, а також на здоров'я робітників. З іншого боку,

ефективне управління кондиціонуванням може суттєво знизити витрати електроенергії, що стає все важливішою проблемою в умовах посиленого регулювання та вартості енергоресурсів [2].

Використання технології IoT в цій задачі дозволяє зібрати величезну кількість даних про стан приміщення, зовнішнього середовища та робочих процесів. Ця інформація використовується для аналізу та оптимізації роботи системи кондиціонування в реальному часі.

Однак інтеграція платформи Arduino має величезний потенціал для забезпечення надійності та ефективності системи. Arduino дозволяє розробити спеціалізовані датчики та актуатори, які відповідають за збір і обробку даних. Ми також розглянемо математичну модель, що допомагає визначити оптимальні параметри кондиціонування в залежності від зовнішніх умов та потреб виробничого процесу.

## II. ТЕХНОЛОГІЯ ІОТ В ІНДУСТРІЇ

Технологія Internet of Things (IoT) стала ключовим фактором трансформації промисловості та індустріального сектора. Вона відкриває нові можливості для покращення продуктивності, ефективності та конкурентоспроможності виробництва.

Технологія Internet of Things – це концепція, за якої фізичні об'єкти та пристрої здатні з'єднуватися до Інтернету та обмінюватися даними, щоб забезпечувати збільшену автоматизацію, моніторинг та контроль. Вона включає в себе використання сенсорів, збору даних, аналізу та взаємодії з об'єктами та системами через мережу.

IoT дозволяє віддалено керувати та моніторити обладнання та машини в реальному часі. Це сприяє оптимізації виробничих процесів, підвищенню продуктивності та зменшенню витрат.

Сенсори IoT дозволяють стежити за станом обладнання та передбачати можливі відмови чи поломки. Це сприяє попередженню невідкладних ремонтів та підвищує надійність системи.

IoT дозволяє збирати дані про споживання енергії та інших ресурсів для зменшення витрат і підвищення ефективності.

Збір та аналіз даних в реальному часі надає можливість приймати інформовані рішення та розробляти стратегії виробництва.

Переваги використання IoT в системах управління:  
– підвищення продуктивності: завдяки

автоматизації та оптимізації процесів, IoT допомагає підвищити продуктивність виробництва;

– зниження витрат: ефективне використання ресурсів, уникнення непередбачених збоїв та ремонтів дозволяють зменшити витрати;

– покращення якості продукції: IoT допомагає виявляти і усувати проблеми на ранніх стадіях, що веде до покращення якості продукції;

– збільшення безпеки: IoT включає системи моніторингу безпеки, що забезпечують безпеку працівників та обладнання;

– вдосконалення аналізу та прийняття рішень: Збір та аналіз даних допомагає управлінням [3].

### III. ІНТЕГРАЦІЯ ARDUINO В СИСТЕМУ

Платформа Arduino грає важливу роль у системі керування кондиціонуванням завдяки своїм можливостям програмування та гнучкості [4].

Arduino може використовувати різноманітні сенсори, такі як температурні сенсори або сенсори вологості, для збору інформації про об'єктивні умови, а також виконує обробку зібраних даних для визначення поточних умов в приміщенні, таких як температура та вологість.

На основі аналізу даних приймається рішення щодо управління кондиціонуванням, наприклад, включає або вимикає кондиціонер для досягнення заданих параметрів.

Arduino може взаємодіяти з кондиціонером та іншими пристроями за допомогою реле, інфрачервоних передавачів або інших засобів комунікації.

Arduino може передавати інформацію про стан системи на інші пристрої або зберігати її для подальшого аналізу і контролю.

Опис сенсорів та пристроїв, що використовуються з Arduino:

– температурні сенсори: наприклад, сенсори температури LM35 або DHT11 призначені для вимірювання температури в приміщенні;

– сенсори вологості: до них відносяться сенсори вологості, такі як DHT11 або DHT22, які вимірюють вологість повітря;

– сенсори руху: сенсори руху, такі як PIR-датчики, виявляють присутність людей у приміщенні;

– датчики CO<sub>2</sub>: датчики CO<sub>2</sub> вимірюють рівень вуглекислого газу в повітрі, що дає змогу визначити якість повітря;

– інфрачервоні передавачі: їх можна використовувати для керування кондиціонером та іншими побутовими пристроями;

– дисплеї: Arduino може бути підключена до LCD-дисплею або інших типів екранів для відображення інформації;

– модулі комунікації: Arduino може взаємодіяти з іншими пристроями через Wi-Fi, Bluetooth або Інтернет.

Ці сенсори та пристрої спільно з Arduino допомагають збирати дані та керувати системою кондиціонування для забезпечення комфортних умов

у приміщенні та раціонального споживання енергії [5].

### IV. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ

Для прикладу розглянемо спрощену математичну модель, системи керування кондиціонуванням виробничого приміщення, яка враховує температурні умови в приміщенні [6].

Модель розрахунку витрат енергії на кондиціонування може бути виражена наступним рівнянням 1:

$$E = \frac{m \cdot (T_i - T_o)}{R + C} \quad (1)$$

де: E – витрати енергії на кондиціонування (у ватах або кіловатах).

m – маса повітря, яке потрібно охолодити (у кількості кілограмів або літрах).

T<sub>i</sub> – початкова температура повітря в приміщенні (у градусах Цельсія).

T<sub>o</sub> – бажана температура в приміщенні (у градусах Цельсія).

R – коефіцієнт теплопровідності матеріалів ізоляції та стін (у ваттах на метр на градус Цельсія).

C – теплоємність повітря (у джоулях на кількість теплоносія).

Ця модель дозволяє розрахувати, скільки енергії буде витрачено на охолодження повітря виробничого приміщення з початковою температурою T<sub>i</sub> до бажаної температури T<sub>o</sub>, враховуючи теплоізоляцію і теплоємність повітря.

Розглянемо деякі можливості розширення математичної моделі, додавши до неї додаткові фактори та параметри, які впливають на роботу системи кондиціонування:

– врахування кількості працівників: додавання параметру, який враховує кількість працівників в приміщенні, може бути корисним. чим більше людей працює в приміщенні, тим більше тепла вони виробляють, що може впливати на навантаження системи кондиціонування;

– зовнішні умови: врахування зовнішніх температурних та вологості умов може покращити точність моделі. Зміни в погоді можуть впливати на теплообмін через вікна і стіни;

– інші джерела навантаження: при використанні виробничого приміщення можуть бути інші джерела тепла, такі як обладнання, освітлення та інше. Ці джерела також можуть бути враховані в моделі;

– динамічні зміни в часі: модель може бути розширена для врахування динамічних змін у витратах енергії протягом дня. Наприклад, витрати можуть змінюватися в залежності від часу доби або робочого графіку;

– інтеграція даних з IoT-датчиків: якщо в вашій системі використовуються датчики IoT, вони можуть надавати реальний час інформацію про температуру, вологість та інші параметри, які можуть бути використані для точніших розрахунків;

– енергоефективність системи кондиціонування: врахування коефіцієнта ефективності вашої системи кондиціонування дозволить оцінити, наскільки ефективно вона використовує енергію;

– адаптація до режимів роботи: модель може враховувати різні режими роботи системи кондиціонування, такі як режим охолодження, обігріву, вентиляції тощо.

Розширена математична модель може бути корисною для більш точних розрахунків витрат енергії та оптимізації роботи системи кондиціонування в залежності від різноманітних умов [7].

## V. ВИСНОВКИ

Метою роботи є розроблення системи інтелектуального керування кондиціонування виробничого приміщення з використанням технології IoT.

У даній роботі було представлено результати досліджень і розробки системи інтелектуального керування кондиціонування виробничого приміщення, в основі якої лежать технологія Internet of Things (IoT) та інтеграція платформи Arduino. Створено систему, яка дозволяє зменшити витрати енергії та сприяє екологічно чистому виробничому процесу.

У підсумку було отримано наступні ключові результати та висновки:

- актуальність та важливість теми: зростаюча конкуренція та зміни в кліматичних умовах потребують нових підходів до управління кондиціонуванням виробничих приміщень. Ефективне та інтелектуальне керування стає обов'язковим для підтримання оптимальних умов роботи та збільшення продуктивності [8];

- використання технології IoT: IoT виявляється потужним інструментом для збору та обробки даних з сенсорів у реальному часі. Вона дозволяє використовувати ці дані для прийняття найкращих управлінських рішень, забезпечуючи комфорт та ефективність;

- інтеграція Arduino: платформа Arduino стала центральною фігурою в нашій системі, забезпечуючи зчитування даних з різних сенсорів та керування обладнанням. Це відкриває нові можливості для розробки інтелектуальних алгоритмів та оптимізації роботи кондиціонування;

- математична модель: ми розробили математичну модель, яка дозволяє прогнозувати параметри кондиціонування на основі зібраних даних та динамічних характеристик системи. Ця модель спрощує прийняття рішень та підвищує точність управління.

За підсумками нашої роботи, ми впевнені, що використання технології IoT та платформи Arduino, разом із нашою математичною моделлю, може значно покращити управління кондиціонуванням у виробничих приміщеннях. Ця система може бути важливим кроком до створення більш ефективного та екологічно чистого виробничого середовища.

Розроблена система інтелектуального керування кондиціонуванням з використанням технології IoT відкриває широкі можливості для покращення умов у виробництві, зменшення енерговитрат і підвищення продуктивності. Практична направленість пов'язана з

можливістю впровадження для створення більш стійких та ефективних виробничих середовищ.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Інтелектуальні системи управління: Експертні системи – основи проектування та застосування в системах автоматизації [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Л. Д. Ярошук. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,56 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 136с.
- [2] Економіка галузевих ринків: Навчально-методичний комплекс для студентів спеціальності «051 Економіка», освітніх програм «Економіка та економічна політика», «Економіка та право», «Економіка підприємства» / Упорядники Ігнатюк А.І., Колоша В.В., Коваленко О.Я.– К., 2018. – 44 с.
- [3] Технології інтернету речей. Навчальний посібник [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології», спеціалізація «Інформаційне забезпечення робототехнічних систем» / Б. Ю. Жураковський, І.О. Зенів; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 12,5 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 271 с.
- [4] I. Perenc, T. Jaworski, and P. Duch, “Teaching programming using dedicated Arduino educational board,” *Comput. Appl. Eng. Educ.*, vol. 27, no. 4, pp. 943–954, Jul. 2019.
- [5] P. Duch and T. Jaworski, “Enriching computer science programming classes with Arduino game development,” in *Proc. 11th Int. Conf. Hum. Syst. Interact. (HSI)*, Jul. 2018, pp. 148–154.
- [6] Математичні моделі та новітні технології управління Конспект лекцій дисципліни «Математичне моделювання» для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»/ Упоряд. В.В. Безкорвайний. – Харків: ХНУРЕ, 2018. – 120 с.
- [7] В. В. Лимаренко, "Інформаційна система підтримки рішень для автоматизації створення технологічних процесів механообробки деталей високоточного обладнання", дис.. канд. техн. наук, Нац. техн. ун-т "ХПІ", Харків, 2019.
- [8] Зміна клімату: наслідки та заходи адаптації: аналіт. доповідь / [С.П. Іванюта, О. О. Коломієць, О. А. Малиновська, Л. М. Якушенко]; за ред. С. П. Іванюти. – К. : НІСД, 2020. – 110 с.

# Аналіз поточного стану розвитку колаборативних роботів

Запорізький Валентин<sup>1</sup>, Плахтій Олександр<sup>2</sup>

1. аспірант кафедри КІТАМ, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА, Харків, пр. Науки. 14., email: valentin.zaporozkyi@nure.ua

2. доцент кафедри ЕтЕм, Український державний університет залізничного транспорту, УКРАЇНА, Харків, пл. Фейербаха 7., email: a.plakhtiy1989@gmail.com

**Анотація:** В роботі представлено короткий аналіз сучасного стану розвитку колаборативних роботів. Зокрема розглянуто наявні на поточний момент стандарти, наведено короткий аналіз підходів кількох основних виробників та сучасні тенденції розвитку даного напрямку робототехніки.

**Ключові слова:** колаборативних робот, cobot, система безпеки.

## I. Вступ

Починаючи з 60-х років 20-го сторіччя застосування роботів дозволило зробити значний стрибок у напрямках підвищення продуктивності, якості, собівартості виробництва. Також важливим аспектом стала заміна людей на монотонних та небезпечних етапах виробничих ланцюгів. Разом з тим подальша автоматизація за допомогою промислових роботів обмежена необхідністю жорсткого контролю доступу до ліній, де працюють роботи, задля попередження травмування людей, а також через складність налаштування подібних систем, яка веде до зменшення гнучкості.

У 90-х роках з'являється перший патент на апарати та методи для безпосередньої взаємодії людини та маніпулятора під керуванням комп'ютера, який запропонував нову концепцію застосування роботів [1]. Пропонувалось застосовувати робота не в якості повністю автономного механізму, а як допоміжний інструмент для людини оператора. Таким чином поєднувались позитивні сторони людини оператора (гнучкість у прийнятті рішень) та робота (точність, можливість безперервно працювати з великими навантаженнями та виконувати монотонні повторювані дії).

Починаючи з 10-х років 21 сторіччя ринок колаборативних роботів почав зростати, що свідчить про інтерес до технології.

Для прийняття рішення про застосування колаборативних роботів на виробництві необхідна інформація про можливості і обмеження подібних систем. На це і спрямована дана робота: визначити основні можливості колаборативних роботів на поточному етапі розвитку, проаналізувати комерційно доступні варіанти колаборативних роботів та визначити перспективи та напрями розвитку.

## II. Міжнародні стандарти в сфері колаборативних роботів

Одним з важливих індикаторів зрілості та сталості технології чи сфери є наявність міжнародних чи національних стандартів для неї, або загальноприйнятих норм і правил. На даний момент

колаборативні роботи не виділяються в окрему групу, не мають офіційного визначення і є, в першу чергу, новою концепцією застосування промислових роботів. Але загальноприйнятим можна вважати наступне визначення колаборативних роботів: колаборативний робот – це робот, призначений для взаємодії з людиною у спільному просторі або у безпосередній близькості до людини [2].

Єдиним офіційним документом, який існує для колаборативних роботів є ISO/TS 15066:2016 «Robots and robotic devices — Collaborative robots» у якому наведені вимоги до колаборативних промислових робототехнічних систем і робочого простору. Ця технічна специфікація є доповненням до стандартів ISO 10218 1 та ISO 10218 2. Цим стандартом визначені 4 основні режими роботи при виконанні колаборативної роботи[3]:

- Safety-rated monitored stop (контрольована зупинка);
- Hand guiding, (умовно ручний режим);
- Speed and separation monitoring (контроль швидкості і відстані);
- Power and force limiting (режим обмеження сили).

Режим «Safety-rated monitored stop» передбачає зупинку робота до того, як людина опиниться в спільному робочому просторі. Тобто у такому режимі працює або людина, або робот. Такий режим використовується, коли робот виконує певну автономну роботу, але іноді людині потрібно увійти в робочий простір. Наприклад, робот обробляє заготовку, але в середині технологічного процесу людина повинна виконати певну операцію, яка є недоступною для робота. При цьому якщо оператор входить у робочу зону, то робот стає на паузу. Після того, як людина покине зону безпеки, робот відразу відновить роботу. Це дозволяє не витрачати час на повний перезапуск робочої програми як у випадку з аварійною зупинкою. Даний спосіб не дозволяє в повній мірі реалізувати потенціал колаборативних роботів, але в той же час є простим і дозволяє швидко відновити автоматичну роботу.

Режим «Hand guiding» передбачає ручне керування роботом. Тут є варіанти реалізації за допомогою пульта чи за допомогою конструкції робота, але це вважається автоматичною роботою, а не ручною. Такий режим може використовуватися для виконання точних операцій з важкими об'єктами. В такому режимі оператор може безпосередньо взаємодіяти з роботом та/або знаходитись у робочій зоні.

Режим «Power and force limiting» передбачає, що людина може контактувати з роботом, що рухається.

Щоб запобігти травмуванню або надмірних больових відчуттів у разі випадкового контакту, програма обмежує корисне навантаження та швидкість. Як наслідок, швидкість робота, може буде надто низькою для частини потенційних сфер застосування. Наразі більшість колаборативних роботів використовують саме принцип обмеження потужності та сили [4]. Якщо відбувається зіткнення робота та оператора, то, система зупиняє робота, щоб захистити людину-оператора. Якщо в колаборативному роботі реалізований режим «Power and force limiting», то людини та робота можуть рухатися одночасно в одному робочому просторі. Але у той же час подібні роботи вимагають додаткових сенсорів, а також розробки безтравматичної конструкції (заокруглені форми, м'якші матеріали).

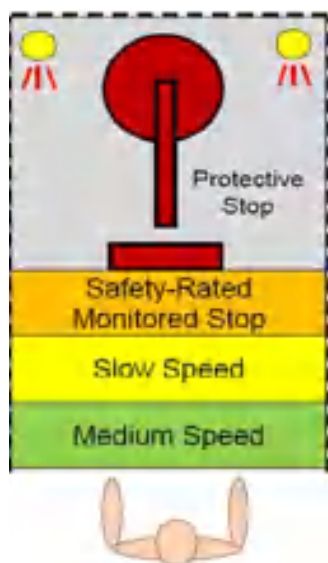


Рис 1. Приклад зонування робочого простору для режиму «Speed and separation monitoring»

Режим «Speed and separation monitoring» передбачає моніторинг положення оператора і робота відносно одне одного та зниження швидкості до значення, при якій робот встигне повністю зупинитись до зіткнення з людиною. Як альтернатива робоча зона може просто розділятися по зонам і тоді швидкість роботи робота залежить від того, в якій зоні знаходиться оператор. Приклад подібного зонування зображено на рис. 1. В цілому режим «Speed and separation monitoring» допускає одночасну роботу робота і людини в одній робочій зоні, але допускає повну зупинку робота.

## II. Існуючі комерційні колаборативні роботи

На поточний момент багато виробників пропонує колаборативних роботів. Зокрема лідерами ринку є наступні компанії: Universal Robots, Fanuc, Techman Robot, Rethink robotics, AUBO, ABB та інші.

Незважаючи на велику кількість виробників, конструктивно більша частина колаборативних роботів дуже схожа: це маніпулятори, призначені для роботи з навантаженнями від 5 до 35 кілограмів, які працюють в режимі «Power and force limiting». На рисунку 2 та 3 зображено типові зразки

колаборативних роботів. Варто звернути увагу на відсутність випираючих елементів та гострих кутів в конструкції. Це викликано тим, що режим роботи робота допускає безпосередній контакт оператора та маніпулятора і подібні конструктивні рішення дозволяють мінімізувати можливі травми.



Рис.2. Колаборативний робот FANUC CRX-5iA

Варто відзначити що з'являються комерційні колаборативні роботи, які працюють в режимі Speed and separation monitoring. Це робот SWIFTI від ABB. Перевагою цього робота є можливість працювати з великою швидкістю, якщо в допустимій зоні відсутні люди.

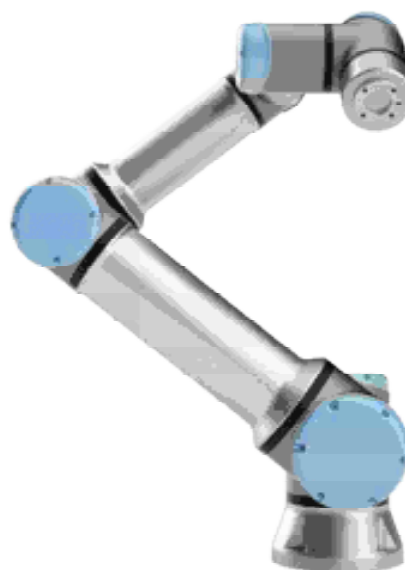


Рис. 3. Universal Robots UR16e

Однією з основних переваг комерційних колаборативних роботів перед класичними є простота їх інтеграції, за рахунок можливості програмування через демонстрацію (hand teach mode, lead-through teaching, force control teaching). Цей спосіб передбачає що потрібні положення та дії робота задаються шляхом фізичного встановлення робота в потрібну позицію з подальшим запам'ятовуванням позиції. Також виробники максимально спрощують програми для налаштування роботів, використовуючи

концепцію «no-code programming». На мій погляд найкраще демонструє цей підхід оболочка для програмування роботів ABB, приклад програми з якої зображено на рисунку 4.

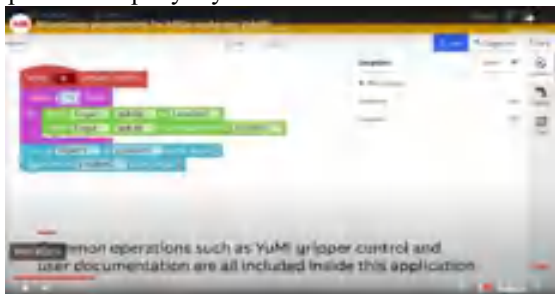


Рис.4. Програма для колаборативного робота ABB

Проте ті методи забезпечення безпеки, які використовуються в комерційних системах доволі сильно впливають на швидкодію. Тому розробка нових методів забезпечення безпеки та покращення швидкодії є актуальними. Це досліджено в роботі [5], у якій вивчається метод комбінування вже існуючих режимів роботи Speed and separation monitoring and force limiting та [6], метою дослідження якої є оптимізація траєкторії руху робота в онлайн режимі. Також постійно йде пошук нових методів навчання та програмування, які покликані максимально спростити інтеграцію роботів у виробничі ланцюжки. Зокрема ведуться дослідження в сфері використання програмування на рівні завдань, який об'єднує експертні знання та досвід, набутий під час успішного вирішення реальних промислових сценаріїв [7], а також розглядаються сценарії використання штучного інтелекту.

Також варто зазначити, що перспективним є подальший розвиток та застосування колаборативних роботів в розрізі концепції Industry 4.0 [8].

Згідно з інформацією, яку надають виробники, колаборативні роботи використовуються для:

- операцій типу pick&place, сортування, пакування та розміщення на палетах;
- операцій нанесення клеїв, фарб та розчинів;
- операцій обслуговування CNC машин, пресів, термопласти автоматів;
- інспекції виробів.

### III. Висновки

Колаборативні роботи є досить перспективною технологією, проте незважаючи на наявність комерційного використання колаборативних роботів ця технологія потребує подальшого розвитку. Можна виділити наступні перспективні напрямки розвитку колаборативних роботів:

- покращення безпеки та швидкодії;
- нові методи навчання;
- методи визначення доцільності застосування

Також надзвичайний інтерес представляє використання штучного інтелекту у комплексі з колаборативними роботами. Таке об'єднання може викликати революцію в промисловості [9].

### Перелік посилань

[1] Cobots" US Patent 5,952,796, filed 1997.

- [2] <http://peshkin.mech.northwestern.edu/cobot/>
- [3] ISO/TS 15066 Robots and robotic devices – Safety requirements for industrial robots – Collaborative operation, 2022.
- [4] <https://www.universal-robots.com/blog/demystifying-cobot-safety-the-four-types-of-collaborative-operation/>
- [5] Lucci, N., Lacevic, B., Zanchettin, A. M., & Rocco, P. (2020). Combining Speed and Separation Monitoring With Power and Force Limiting for Safe Collaborative Robotics Applications. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 5(4), 6121-6128. doi:10.1109/ra.2020.3010211
- [6] Losey, D. P., & O' Malley, M. K. (2020). Learning the Correct Robot Trajectory in Real-Time from Physical Human Interactions. *ACM Transactions on Human-Robot Interaction*, 9(1), 1-19. <https://doi.org/10.1145/3354139>
- [7] Schou C., Andersen R.S., Chrysostomou D., Bøgh S., Madsen O. Skill-based instruction of collaborative robots in industrial settings. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, October 2018
- [8] Plakhtii O., Nerubatskyi V., Kotlyarov V., Analysis of topologies of active four-quadrant rectifiers for implementing the industry 4.0 principles in traffic power supply systems. *International scientific journal «INDUSTRY 4.0»*. 2019. Vol. 4, Issue 4. P. 57-61.
- [9] Collaborative Robotics:Cobots are Collaborators. Advance: <https://eu.mouser.com/applications/collaborative-robotics-ai-make-partners/>



# Використання автоматизованого випробувального обладнання в системі контролю якості продукції радіоелектронної промисловості

Олег Гуртовий<sup>1</sup>

1. Кафедра КІТАМ, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА, Харків, пр. Науки. 14., email: oleh.hurtovyi@nure.ua

**Анотація:** В даному матеріалі наведено аналіз існуючого автоматичного обладнання для перевірки якості виробів радіоелектронної промисловості та напрямків його поліпшення.

**Ключові слова:** контроль якості, автоматизоване обладнання для випробувань, ATE, DUT, ICT, AOI

## I. Вступ

Нині з ускладненням функціональних можливостей інтегральних мікросхем (ІМС), зі збільшенням їх інтеграції, і постійним прагненням до мініатюризації радіоелектронної апаратури виникають труднощі з контролем і управлінням якістю та діагностикою браку під час виробництва продукції радіоелектронної промисловості.

Впровадження вимог стандартів ISO 9000, підвищення достовірності контролю якості та діагностики браку продукції та її складових частин (компоненти, друковані плати, електронні модулі) вимагають наявності автоматизованої, універсальної, швидкодіючої та бюджетної системи контролю якості радіоелектронних виробів у процесі серійного виробництва. Існує актуальне науково-технічне завдання створення автоматизованих систем контролю якості та поліпшення характеристик уже наявних систем.

Дана робота має на меті аналіз можливостей сучасного автоматизованого випробувального обладнання та визначення перспективних напрямків його розвитку.

## II. Контроль якості виробництва електронної апаратури, ате та їхні види

Вимоги якості до продукції радіоелектронної промисловості визначаються як загальними вимогами до якості стандартами ISO 9000, так і вимогами до окремих видів електричних приладів та їхніх складових частин - стандартами МЕК (ІЕС), вимогами до якості друкованих плат (ДП) і паяних з'єднань - стандартами ІСР, а також державними стандартами України - ДСТУ, зокрема ДСТУ 3021-95 [1].

Під час масового виробництва передбачається застосування вибіркового контролю продукту, під час якого його випробовують максимально повно, однак такий контроль не може забезпечити повне виключення випадків пропуску браку, а скоріше підтримує необхідний рівень якості виробництва. Ідеальним контролем є 100%-ва перевірка всіх параметрів виробів на всіх виробничих операціях. Однак у цьому випадку виникають великі економічні

та технічні труднощі, пов'язані з необхідністю використання великої кількості контролерів і дорогого вимірювального обладнання. Тому необхідний розумний компроміс у покритті перевірками (тестами) вузлів виробу, контролем дотримання технологічних вимог і періодичним ретельним вибірконим контролем з повною перевіркою виробу.

Чим менші витрати на "хорошу" якість (контроль продукції, дотримання техпроцесу тощо), тим більші витрати на "погану" якість (ремонт браку, відкликання виробленої продукції, репутаційні витрати тощо) - див. мал.1 [2].

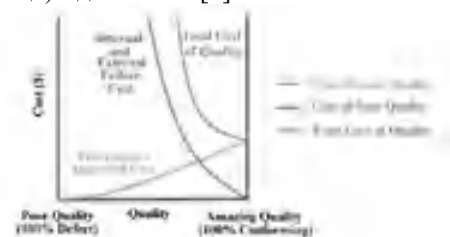


Рис. 1. Співвідношення витрат та якості продукції.

Автоматизація перевірок якості продукції прискорює процес виробництва, знижує виробничі витрати, гарантує повторюваність результатів перевірки та забезпечує збір даних під час усього циклу виготовлення виробу та його складових частин.

У процесі виробництва радіоелектронної апаратури передбачаються такі види контролю якості:

- вхідний контроль (перевірка всіх покупних виробів на відповідність технічним умовам) - містить інструментальний контроль параметрів компонентів, візуальний контроль маркування, пошук контрафакту (наприклад порівнянням рентгенівського знімка внутрішньої структури компонента (ІМС) зі знімком зразкового компонента). Вхідний контроль компонентів може бути значною мірою автоматизований;

- міжопераційний контроль (перевірка за технологічними картами і кресленнями) - для друкованих плат з компонентами автоматизований на 100%, містить системи автоматичної візуальної інспекції якості нанесення паяльної пасти, автоматичного контролю пайки, рентгенівський контроль якості паяних з'єднань;

- вихідний контроль (перевірка готової продукції) виконується як візуальним оглядом ДП, так і стендами функціонального та електричного

контролю, також значною мірою автоматизований при масовому виробництві;

- контроль якості техпроцесів (постійний або вибірковий контроль параметрів техпроцесу на відповідність вимогам технічної документації), може бути автоматизованим, якщо застосоване технологічне обладнання має можливість контролю своїх операційних параметрів.

Як інструмент перевірки в системах контролю якості продукції радіоелектронної промисловості виступає автоматичне/автоматизоване випробувальне обладнання (ATE – Automatic/Automated Test Equipment). Випробуваний виріб в англійській літературі при цьому визначається як DUT - Device Under Test.

Нині ATE-системи набули найширшого поширення, їх розробкою займаються провідні фірми-виробники, такі як National Instruments (NI), Advantest, Chroma ATE, Roos Instruments, Teradyne, STAr Technologies, Xcerra Corporation. ATE-системи для контролю якості свого виробництва використовують Honeywell International, Northrop Grumman, Lockheed Martin, Boeing, Ball Aerospace & Technologies, Raytheon Technologies. ATE-системи широко застосовують у напівпровідниковій промисловості, виробництві побутової електроніки, медичної техніки, виробництві електроніки для автомобільної та авіаційної промисловості та в телекомунікаційній галузі. У 2019 р. ринок ATE оцінювали в 6 млрд. дол. доларів з очікуванням його зростання на 3 млрд. доларів до 2027 р. [3].

Найпростіші ATE являють собою вимірювачі напруги та опору. Складні комплексні ATE-системи містять у собі різне випробувальне устаткування і механізми та здатні виконувати високорівневу електронну діагностику, як, наприклад, тестування кремнієвих пластин на виробництві напівпровідникових чипів.

Автоматизація використовується для виконання максимальної кількості перевірок і зменшення часу випробувань. Перевірки в різних контрольних точках виконуються паралельно завдяки великій кількості використовуваних вимірювальних каналів і щупів (до 1024 щупів у сучасних системах).

Загальна особливість усіх ATE - щойно виявлено вихід за межі допуску хоча б одного зі значень параметрів, що перевіряються, усі перевірки зупиняються, а пристрій, що перевіряється, відбраковують, що дає змогу скоротити тривалість перевірки у зв'язку з її подальшою недоцільністю.

Сучасні типові ATE-системи складаються з наступних складових частин:

- Апаратна частина, що містить у собі сервери або робочі станції, джерела живлення, стійки з різноманітними модулями, включно з інтерфейсними модулями, контролерами, модулями аналогових входів/виходів, цифрових входів/виходів тощо.

- Програмне забезпечення для управління перевірками/випробуваннями, збору даних, зберігання, аналізу даних і формування звітів

- Інструменти випробувань - цифрові мультиметри, вимірювачі індуктивності, ємності та опору (LCR), цифрові осцилографи

- Джерела сигналів - генератори сигналів довільної форми, функціональні генератори, генератори імпульсів, радіочастотні генератори

- Тестові пробники або маніпулятори для встановлення контакту між випробувальним інструментом і виробом, що перевіряється

Для перевірки якості продукції можуть використовуватися різні методи та обладнання, наприклад системи комп'ютерного зору для аналізу якості зображення екранів цифрових телевізорів [4] або аналіз форми сигналу осцилографічним методом [5]. Також розробляються спеціальні методики для тестування окремих вузлів електронної апаратури, наприклад апаратури з RFID [6].

Як основа ATE можуть використовуватися параметричні вимірювальні вузли - PMU (Parametric Measurement Unit) - див. рис. 2, здатні виконувати такі операції:

1. Вимірювання напруги
2. Вимірювання струму
3. Формування заданої напруги
4. Формування заданого струму
5. Вимірювання струмів витoku

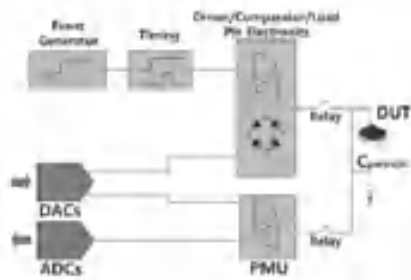


Рис.2. Блок-схема включення PMU в тестер ІМС.

Для подібних систем розробляють відповідну методологію [7].

Сучасні типи ATE-систем у радіоелектронній промисловості [8]:

1) Системи перевірки друкованих плат (PCB Inspection Systems) - ключовий елемент виробничого процесу і вкрай важливий у разі використання ліній автоматичного монтажу друкованих плат. Відповідні системи:

- автоматичної візуальної інспекції якості нанесення паяльної пасти (SPI - solder paste inspection)

- автоматичного контролю пайки (AOI - automated optical inspection) - використовують технології комп'ютерного зору, здатні перевіряти наявність дефектів у пайці, правильність монтажу елементів і їхньої орієнтації на ДП. Дуже висока швидкість перевірки, але вимагають значних витрат часу на налаштування.

- рентгенівського контролю якості паяних з'єднань (AXI - Automated X-Ray Inspection) - здатні виявляти внутрішні дефекти паяних з'єднань (наявність порожнеч), наразі отримують широке застосування для контролю розпаювання BGA-корпусів мікросхем, виводи яких є недосяжними під час оптичного контролю.

2) Системи електроконтролю (ICT - In-Circuit Test) - велику кількість контактних штирів під'єднують до

контактів на платі з компонентами для вимірювання опору, ємності та інших параметрів між контактами й выводами компонентів, та подальшого порівняння зі зразковими значеннями, зокрема за наявності живлення - рис.3.

Перевага таких систем у швидкодії, швидкому переналаштуванні, зручності інтерпретації результатів перевірки - знаходженні місця і причини дефекту. Якщо у наявності є доступ до всіх ланцюгів ДП - ці системи здатні виявляти до 98% браку.



Рис.3. Електроконтроль ДП.

Недоліки - у зв'язку з тенденцією сучасної техніки до більшої мініатюризації, на ДП часто відсутня можливість під'єднатися до контактів, а самі контакти впливають на сигнальні ланцюги, на яких вони розташовуються. Тому при щільному монтажі і трасуванні доступ контактними штирями до точок, в яких необхідно проводити вимірювання, ускладнений. Аналогічна ситуація із застосуванням багатопшарових друкованих плат. Також системи електроконтролю вимагають розроблення та виготовлення спеціальних фіксаторів для різних контурів ДП. У деяких випадках можливий ризик виходу з ладу продуктів, що перевіряються, внаслідок впливу струмів витoku.

Системи перевірки ДП спільно з системами електроконтролю здатні виявляти наступні види дефектів і порушень техпроцесу монтажу ДП - див. табл. 1[9] Як свідчить з таблиці, тільки сукупне застосування декількох типів систем перевірки дає змогу виявити та уникнути максимальної кількості дефектів монтажу друкованих плат.

Таблиця 1. Типи дефектів, що виявляються різними АТЕ

Види дефектів	АОІ	АХІ	ІСТ
1	2	3	4
Дефекти пайки			
Обрив ланцюга	+	+	+
Замикання припоєм сусідніх выводів	+	+	+
Нестача припою	+	+	-
Каверни всередині пайки	-	+	-
Надлишок припою	+	+	-
Якість припою	-	+	-
Дефекти компонентів			
Підняті выводы	+	+	+
Пропущені компоненти	+	+	+
Неправильно орієнтовані компоненти або встановлені під кутом	+	+	+

Продовження таблиці 1

1	2	3	4
Неправильні номінали компонентів	-	-	+
Компоненти, що вийшли з ладу	-	-	+
Дефекти монтажу BGA-корпусів			
Замикання выводів	-	+	+
Непропай выводів	-	+	+

Виробничі аналізатори дефектів (MDA - Manufacturing defect analyzers) являють собою різновид систем електроконтролю, проте призначені виявляти тільки відсутність компонентів, обрив або коротке замикання ланцюгів, що перевіряються, бо не передбачають під'єднання живлення до ДП, що перевіряється, однак, відповідно, мають меншу вартість, порівняно з ІСТ.

3) Системи з використанням периферійного сканування (JTAG Boundary scan testing) - засновані на застосуванні інтерфейсу IEEE1149.1 (JTAG - Joint Test Action Group) або IEEE1687 (IJTAG) [10], що є одним з основних інструментів автоматичних перевірок, що надають можливість перевірок функціонування ІМС в різних режимах у вигляді перевірки послідовності даних, що подаються на порти вводу/виводу.

4) Системи функціонального контролю - ті, що перевіряють функціонування виробу або його складових частин під час подання на нього живлення:

- FATE - Functional Automatic Test Equipment - системи з використанням цифрових функціональних тестерів, здатних подати на вхід виробу, що перевіряється, заданий сигнал, який майже або повністю імітує справжній. Такі системи здатні швидко визначати працездатність виробу, але нездатні локалізувати його на несправність, визначити причину браку працездатності.

- Rack and stack test equipment - у стійках із використанням протоколу GPIB (HS-488) (швидкість обміну даними до 8 МБ/с) для шини даних IEEE-488.1 запропонованого фірмою National Instruments. Для написання програмного забезпечення для перевірок може використовуватися LabView. Ці системи поступово набувають застарілості через те, що займають багато місця та їхньої швидкодії вже недостатньо для тестування високошвидкісних ланцюгів та інтерфейсів.

- Chassis or rack based test equipment - у стійках або шасі на основі більш швидкодючих шин, наприклад PXI (швидкість обміну даними до 264 МБ/с 64-розрядною шиною) - див. рис. 4.

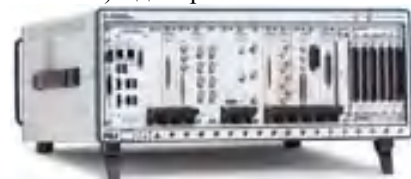


Рис.4. Приклад обладнання з використанням шини

PXI

Загальний недолік систем функціонального контролю - їхня спрямованість на певний продукт,

складність переналаштування на інший вид продукції, необхідність розроблення програмного забезпечення під тестові послідовності, що відрізняються від заданих. Все це значно збільшує їхню вартість.

5) Комбіновані системи, що об'єднують у собі одночасне використання декількох із перерахованих вище систем.

Найпоширеніші проблеми та складнощі, що виникають під час розроблення, використання, обслуговування або модернізації АТЕ, включають у себе проблеми сумісності апаратної та програмної частин, труднощі з розробленням послідовностей виконання перевірок і конфігурації під них обладнання, необхідність у висококваліфікованому персоналі. Бажано, щоб можливість перевірити майбутній виріб було закладено ще на етапі розроблення з урахуванням устаткування, що використовується на виробництві.

### III. Висновки

Сучасні АТЕ-системи охоплюють найширший спектр різноманітного сучасного обладнання і постійно вдосконалюються. Можна виділити такі напрямки:

1) Автоматизація максимальної кількості операцій з контролю, повне виключення впливу людського фактора на результати випробувань

2) Інтеграція засобів контролю якості в єдине середовище

3) Розширення тестового покриття випробуваного продукту, гарантування 100% працездатності виробу і всіх його складових частин після контролю, комбінування АТЕ-систем

4) Збір та аналіз статистичних даних за результатами перевірок виробу і характеристик технологічних процесів на підприємстві, прогнозування надійності виробів за результатами перевірки [11], застосування машинного навчання

5) Зниження витрат на АТЕ шляхом оптимізації під певні потреби

6) Підвищення швидкодії АТЕ і зниження часу перевірок, шляхом застосування високошвидкісних засобів вимірювання та обробки результатів і розпаралелювання операцій перевірки

7) Розробка нових методик випробувань з урахуванням сучасних досягнень науки і техніки.

### Перелік посилань

- [1] Випробування і контроль якості продукції. Терміни та визначення: ДСТУ 3021–95. (Чинний від 1996-01-01). К.:Держспоживстандарт України, 1995, 70 с.
- [2] Philip B. Crosby. Quality is Free. New York: McGraw-Hill. 1979. ISBN 0-07-014512-1.
- [3] Brett Daniel. What Is Automatic Test Equipment (ATE)? [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.trentonsystems.com/blog/automatic-test-equipment-overview>
- [4] A.N. Rau. Automated test system for digital TV receivers: 2000 Digest of Technical Papers. XIX International Conference on Consumer Electronics.

(Cat.No.00CH37102). DOI: 10.1109/ICCE.2000.854597

- [5] Creston D. Kuenzi, Christopher D. Ziomek. Fundamentals of Oscilloscope Measurements in Automated Test Equipment (ATE):. 2006 IEEE Autotestcon. DOI: 10.1109/AUTEST.2006.283645
- [6] Peter J. Hawrylak, Ajay Ogirala, J. T. Cain, Marlin H. Mickle. Automated Test System for ISO 18000-7 - Active RFID.: 2008 IEEE International Conference on RFID. DOI: 10.1109/RFID.2008.4519355
- [7] Cost Effective Test Methodology using PMU For Automated Equipment Systems - In-Seok Jung, Yong-Bin Kim, Kyung Ki Kim – International Journal of VLSI design & Communication Systems (VLSICS) Vol.5, No.1, February 2014.
- [8] Automatic test equipment ATE Primer. [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.electronics-notes.com/articles/test-methods/automatic-automated-test-ate/basics-primer.php>
- [9] Automated Test Equipment Information. . [Електронний ресурс]: Режим доступу: [https://www.globalspec.com/learnmore/test\\_measurement\\_electrical\\_testing\\_electrical/automated\\_test\\_equipment](https://www.globalspec.com/learnmore/test_measurement_electrical_testing_electrical/automated_test_equipment)
- [10] M. Portolan. Automated Testing Flow: The Present and the Future: IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems (Vol.39, №10, 2020). DOI: 10.1109/TCAD.2019.2961328
- [11] Єгоров С.В. Комп'ютеризована система діагностування та контролю параметрів електронної апаратури/ дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Київ: НАУ, 2019