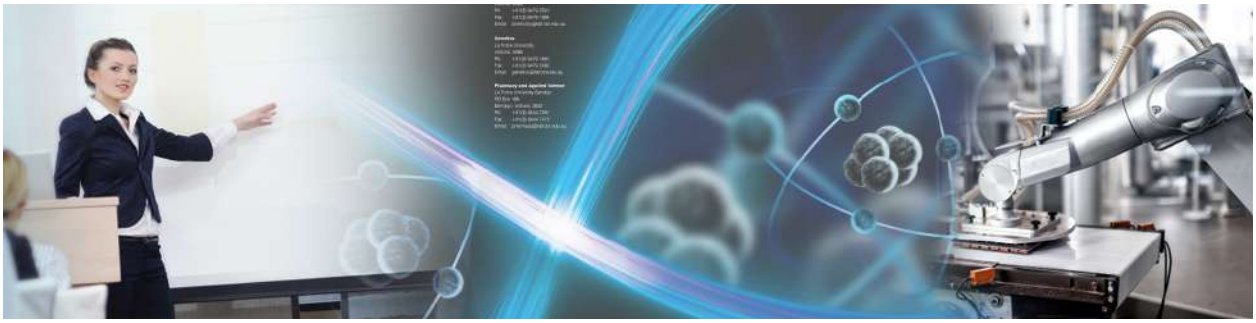
Міністерство освіти і науки України

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 CAD системах); робототехніці та засобахм 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: Thesises of Reports / [Ed. I.Sh. Nevlyudov (chief editor).] .- Kharkiv .: [electronic version], 2023. - 163 p.

The collection includes the thesises 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 toolls; 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. Nevludov, 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 (МОНУ)

The Ministry of Education and Science of Ukraine

Харківський національний університет радіоелектроніки (ХНУРЕ)

Kharkiv National University of Radioelectronics

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 машинобудування», 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 Богомолов	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 Агаєв	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 підриємтва «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 (КІТАР), Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна.
Сергій Павлович Новоселов	кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (КІТАР), Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна.
Євген Анатолійович Разумов-Фризюк	кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (КІТАР), Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна.
Наталія Павлівна Демська	кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (КІТАР), Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна.

ЗМІСТ

Vladyslav Yevsieiev

Modeling of the BEAM robot control systemon 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 Заікін

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 автоматики ……. 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

Максим Лузан, Дмитро Янушкевич

Аналіз методів дистанційного знешкодження ……... 46

Михайло Ковальов, Іванов Леонід

Способи удосконалення частотного перетворювача напруги для блоку управління електричним транспортним засобом …….. 49

Світлана Максимова, Георгій Борисов

Розробка програми для пошуку й побудови оптимального маршруту мобільного робота у двовимірному просторі …… 52

Світлана Максимова, Канаєв Владислав

Розробка підсистеми керування мобільного роботу для орієнтації в виробничому просторі ……. 54

Олена Чала, Анатолій Сливка

Рівні Засобів IIoT в Інформаційних Технологіях …….. 57

Чала О., Дон Д.

Розроблення елементів обліку обладнання інформаційних ERP-систем 61

Бронніков А.І., Чернишов Д.І.

Модернізація модуля керування розсувними конструкціями виробничого приміщення з використанням IoT …… 65

Бронніков А.І., Нищета В.Є.

Розроблення системи інтелектуального керування кондиціонуванням виробничого приміщення з використанням технології IoT …….. 68

Запорізький Валентин, Плахтій Олександр

Аналіз поточного стану розвитку колаборативних роботів ……. 71

Олег Гуртовий

Використання автоматизованого випробувального обладнання в системі контролю якості продукції радіоелектронної промисловості …. 74

Дмитро Лобанов, Леонід Іванов

Способи удосконалення модуля автоматичного управління перетворювача напруги блоку живлення електроробокара ……. 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 маскування та ідентифікації …… 119

Кузьменко Олександр

Аналіз засобів дистанційного виявлення мінно-вибухових пристроїв ... 124

Дмитро Кухаренко, Богдан Коваленко

Метод ранньої діагностики ниркових захворювань ……. 128

Олексій Юрко, Дмитро Кухаренко, Михайло Довбня, Миколо Мешков

Програмна реалізація системи керування лабораторним блоком живлення …… 133

Дмитро Кухаренко, Роман Косюта

Моделювання процесу розмінування українських територій за допомогою роботизованих комплексів …….. 138

Дмитро Кухаренко, Іван Лукеча

Моделювання артеріального тромбозу в серцево-судинній системі ….. 142

Дмитро Кухаренко, Владислав Нікітюк

Розробка моделей та методів комп'ютерного планування оперативних втручань на ШКТ ……. 146

Дмитро Проценко

Особливості розробки автономного малогабаритного робота …… 150

Igor Nevliudov, Oleksandr Ratushnyi, Yurii Romashov

Development of General Approaches for Mathematical Modelling of Heat Exchangers as Automation Objects …… 153

Олександр Малий, Наталія Фурманова, Вадим Онищенко, Сергій Малий

Методологічні засади вибору компонентів рушійної установки мультироторних БПЛА ……. 158

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

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

Abstract: This work is devoted to the modeling and implementation of the BEAM control circuit of a phototaxis robot (directed movement towards or away from light). To implement control systems, the author uses the L293D microcircuit with minimal wiring. As a result of the modeling carried out in the Autodesk Tinkercad environment, a circuit was developed that implements the movements of the BEAM robot in the direction of light, while the implementation of the control program is built on the basis of logical elements, without the use of program code, which makes the BEAM robot reliable and durable.

***Keywords*:** BEAM, robotics, caravan systems, phototaxis, L293D microcircuits.

I. INTRODUCTION

Research in the field of BEAM robotics (Biology, Electronics, Aesthetics, and Mechanics) is relevant and important for several good reasons. First of all, BEAM robotics is unique in its multidisciplinary approach, combining biology, electronics, aesthetics and mechanics. This approach allows the creation of robots inspired by nature and capable of overcoming complex tasks such as adapting to variable environmental conditions [1].

The second important aspect is biological inspiration. BEAM robots often simulate the behavior of living organisms, which allows us to better understand the principles of nature and use them in technological developments. For example, robots that imitate the movement of insects or animals can be more effective in a variety of tasks, from search and rescue to exploring uncharted
places [2].

A third factor contributing to the relevance of BEAM robotics is the potential to develop more reliable and efficient solutions than traditional approaches. Robots designed based on biological principles can be more resistant to breakdowns and more efficient in resource-efficient use of energy [3-5].

BEAM robotics research is also opening new horizons in creating robots that can interact with their environment and detect and respond to changes in real time, which is critical in many fields including industry, medicine, ecology and more. All these factors explain the relevance of research in BEAM robotics and emphasize their importance for future technological development [6-8].

II. IMPLEMENTATION OF THE SIMPLE SENSOR SYSTEM FOR BEAM ROBOT

The use of photosensors in systems for BEAM robots remains relevant and has many advantages. BEAM robotics is based on biological principles and seeks to create robots that replicate certain aspects of living organisms, including their ability to interact with their environment. Photosensors play an important role in this context for the following reasons:

- orientation and navigation: Photosensors can be used to sense the direction and intensity of light, allowing robots to navigate their environment. This is especially useful for robots that need to follow or avoid a light source;
- reaction to external changes: Photosensors can help robots detect changes in the environment, such as changes in light or the presence of obstacles. This allows them to adapt to change and avoid confrontation;
- energy saving: In BEAM robotics, one of the key principles is the efficient use of energy, mimicking biological organisms. Photosensors could help robots adjust their activity based on light levels, reducing energy consumption;
- modeling biological processes: Using photosensors in BEAM robots can help model biological processes such as photosynthesis, which could lead to the development of more resilient and autonomous systems;
- experiments and research: BEAM robotics is often used in scientific research and experiments, and photosensors can be useful tools for studying the behavior of robots in various environments;

A general view of photoresists that can be used when designing BEAM robots is presented in Figure 1.

In fact, any available photosensors can be used in the circuit of this robot. The circuit can use not only phototransistors, but also photodiodes and photoresistors.

а) б)

а) ФПФ-9-2, б) SFH 2500 FA-Z IR Si Photodiode.
Figure 1 – Models of photoresistors [9]

The robot's BEAM control circuit uses two sensors implemented on phototransistors, which are connected directly to the inputs of the L293D motor driver [10-11]. The movement algorithm for such a robot was very simple:

- 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.

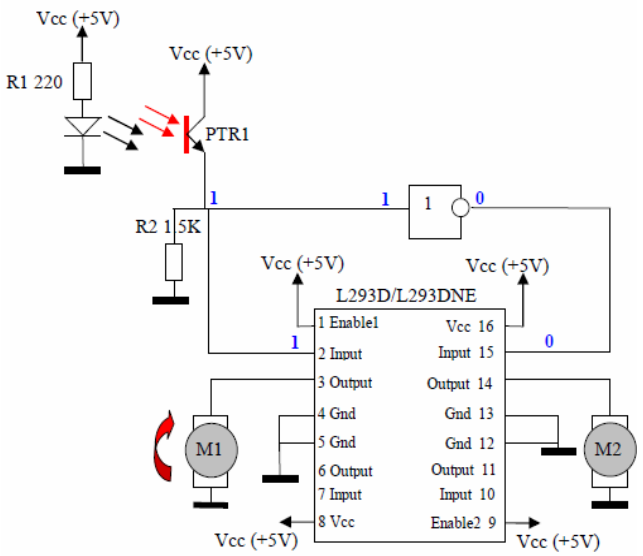


Figure 2 – Electrical circuit diagram

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.

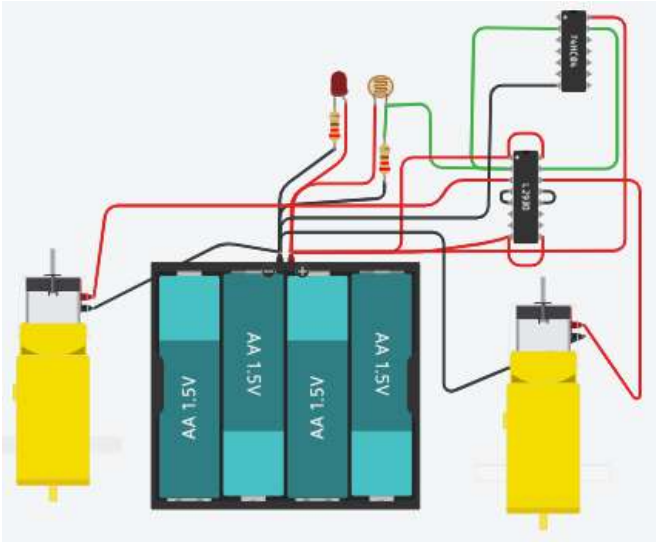


Figure 3 – Modeling scheme in the Autodesk Tinkercad environment

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.

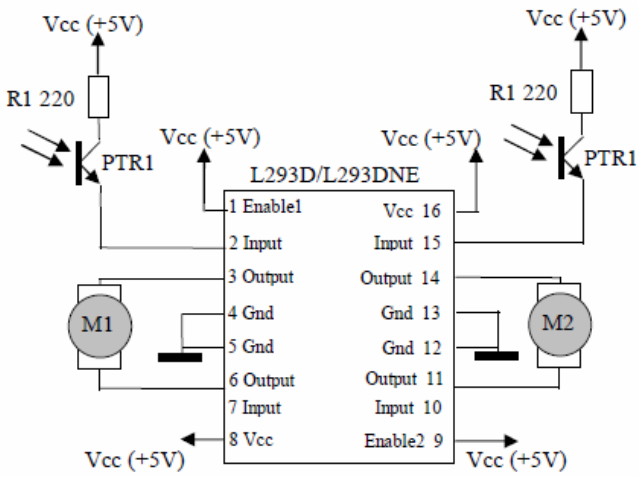


Figure 4 – Schematic diagram of a BEAM robot that implements the phototaxis reaction

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 «ΛΌΓΟΣ», (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.Demska, 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 ComputingFebruary 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[1], Puhach Hanna[2]
1. Student, Municipal Institution "Kharkiv Lyceum № 126 Kharkiv City Council", UKRAINE, Kharkiv, Pidlisna str. 9., email: kakaeta.poshta@gmail.com
2. Informatics teacher, Municipal Institution "Kharkiv Lyceum № 126 Kharkiv City Council", UKRAINE, Kharkiv, Pidlisna str. 9., email: 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 recurringly. 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):

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

Where m is the module, n≥2, the natural number, relat to which the remainder of the division is calculated; a is the factor (0≤a<m); X_0 is the seed; (0≤ 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 mechanism starts generating a new sequence of random numbers.

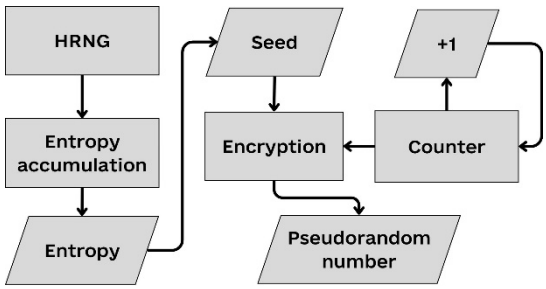


Fig. 1. General structure of the Yarrow algorithm

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.

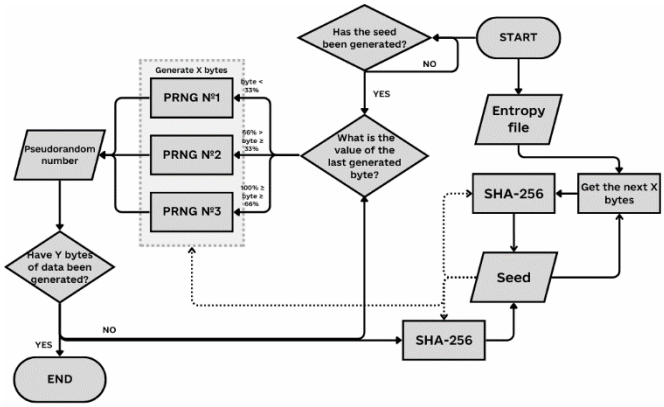


Fig. 2. Developed algorithm structure

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

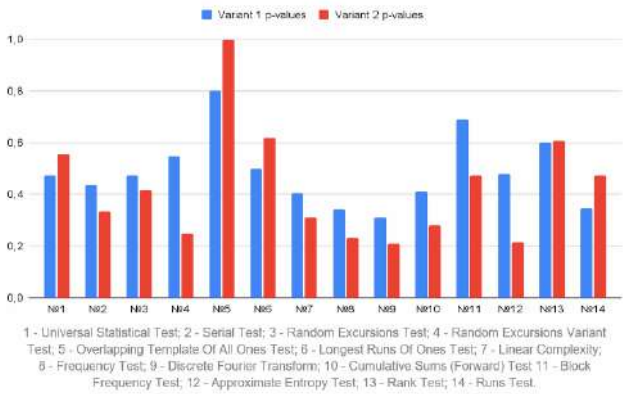


Fig. 3. NIST statistical test results

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

[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

[10] Wikimedia Foundation. (2023b, May 16). Yarrow algorithm. Wikipedia. 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

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

Anotation: 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.

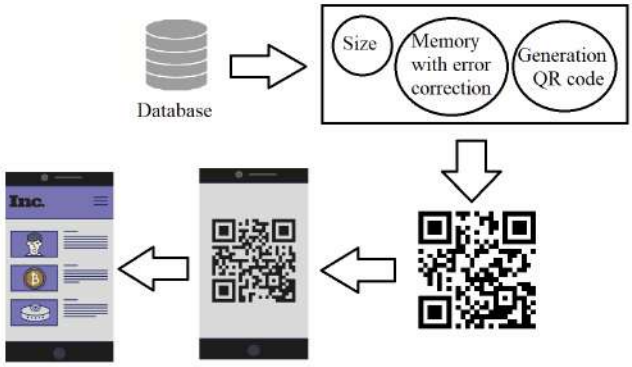


Fig. 2. Process of scanning QR code

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.
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.

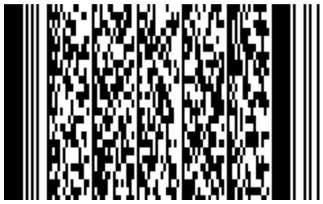


Fig. 4. Example of PDF417

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.

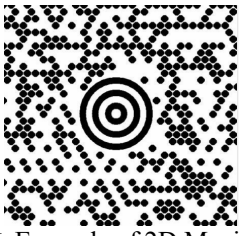


Fig. 6. Example of 2D MaxiCode

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[1] ,Світлана Вишванюк[1]
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, IIoT, системи керування, RFID.

I. Вступ

В сучасному світі, де вимоги до ефективності та точності виробництва невпинно зростають, розробка автоматизованих модулів обліку готової продукції стає надзвичайно актуальним завданням. За роки сталого та стрімкого розвитку технологій Інтернету речей (IoT), 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 IoT, 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 актуальнім дослідженням, якій має не тільки наукову, але й практичну значимість.

II. Аналіз літератури за темою дослідження

Estler та інші використовував 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. Місценахождения 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 запропонував 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 використання 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 databese, база даних для збереження інформації. Дає можливість аналізувати та контролювати ланцюг поставки на складі;

– RFID Information Management system, елемент системи Central databese, яка реалізує базу даних співвідношень кодів RFID до певного об'єкту на складі.

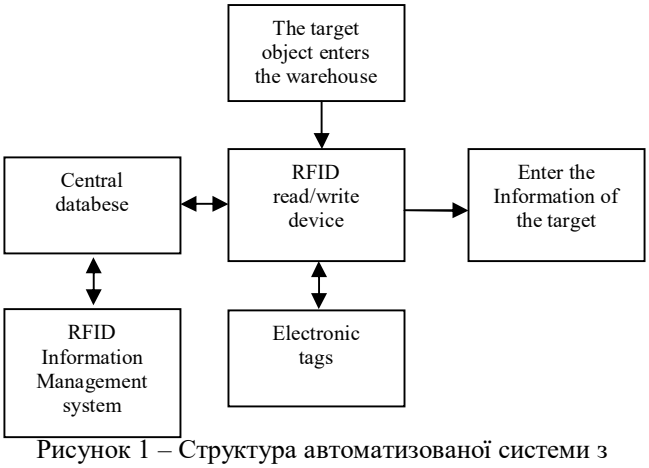


Рисунок 1 – Структура автоматизованої системи з використанням технології RFID у складському виробництві

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.

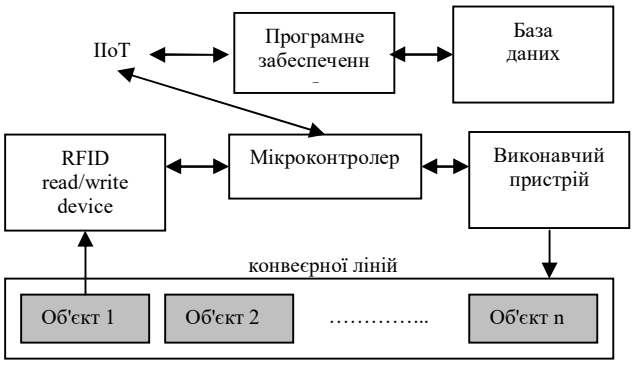


Рисунок 2 – Функціональна схема макета автоматизованої системи обліку на складі сучасного виробництва

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 складскій 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 IIoT. 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 IIoT 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]

SP8266 NodeMCU CH9102 ESP-12E – це один з популярних мікроконтролерів, який використовується для розробки IoT-проектів та вбудованих систем. Ось 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, якій 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 середовище 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 Заікін [1]
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 невибухших 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 металошукачі, 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].

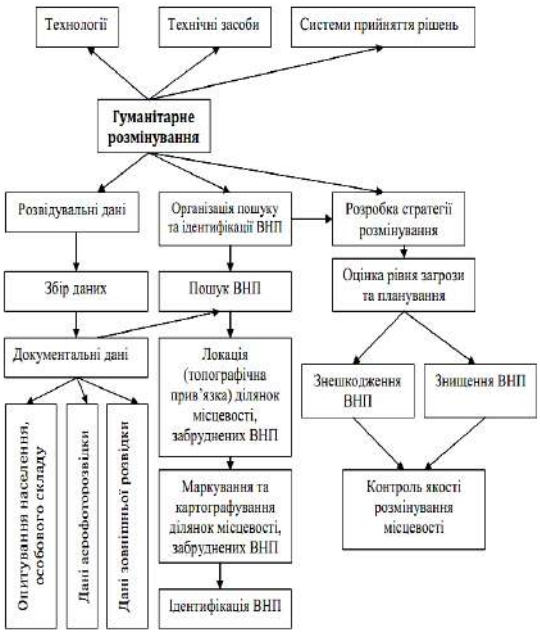


Рисунок 1 – Складові системи гуманітарного розмінування

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 грунту 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 розмінування часто використовують комбінацію різних методів та технологій. Вибір конкретного методу залежить від конкретних умов і завдань розмінування.

Таблиця 1.1 – Демаскуючі ознаки вибухонебезпечних предметів

Вид контрасту між об'єктом і оточуючим середовищем	Тип об'єкта пошуку			
	ППМ	ПТМ	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 розмінування.

Проблеми, які виникають при застосування цих методів – це питання безпеки і зниження часових та матеріальних витрат на розмінування. 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 в 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. Гусляков // 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 vooruzhenie, 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 боєприпасів, адекватних за показником теплової інерції / М. Підгородецький, Т. Куртсеітов, 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: kateryna.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/0006899387914776

[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

[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 «ΛΌΓΟΣ», (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 «ΛΌΓΟΣ», (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[1], Mykhailo Akopov[1]
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..

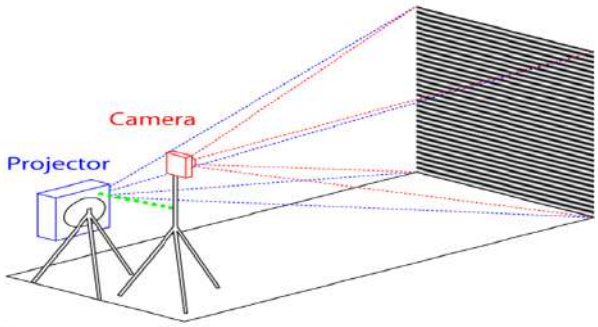
Key words: Mobile robot, Camera, Lidar, Stereo Camera

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

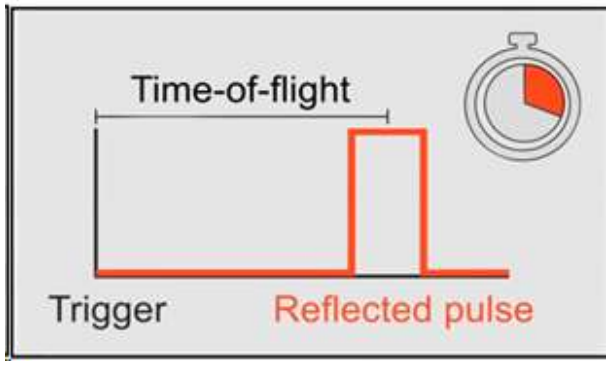


Picture 1.1 – Structured Light Camera Operating Scheme

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.

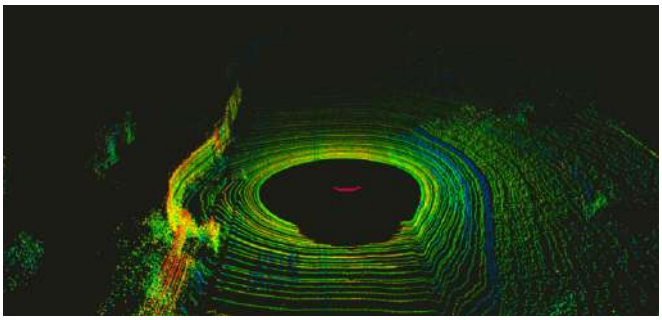


Picture 1.2 – Scheme of Operation of the Time of Flight Camera

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.

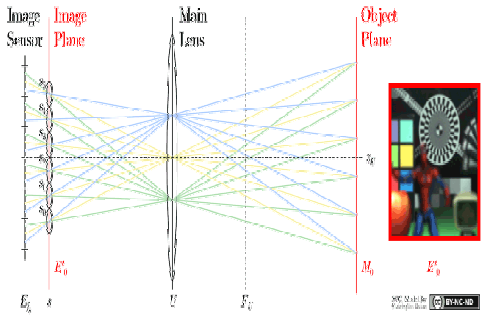


Picture 1.3 – Example of Lidar Camera Performance

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

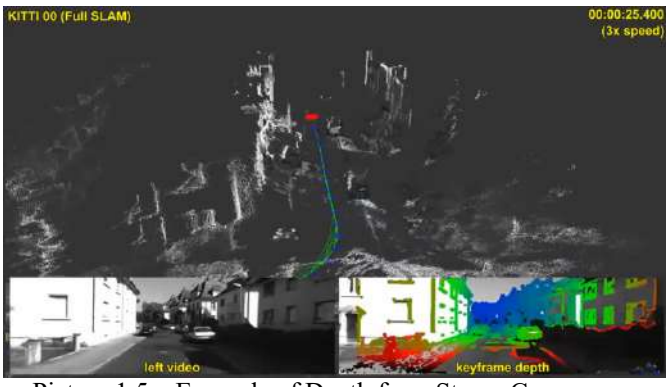


Picture 1.4 – Light Field Camera Operation Scheme

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,

Rasberry 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. Vzhesniewski // 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 «ΛΌΓΟΣ», (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 «ΛΌΓΟΣ», (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 автоматики

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 ПІД-регулятор.

Ключові слова: ПІД-регулятор, закони автоматики, 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 сформувати 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 – розімкнути автоматичні системи керування окремою величиною, що базуються на принципі керування за збуренням.

Однім з параметрів САК можна виділити автоматику у параметрах руху. Закони автоматики 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 автоматики для регулювання швидкості.

IV. Регулювання швидкості

За допомогою законів автоматики 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 їде 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 дозволятиме точніше слідувати побудованому маршруту, що підвищить оптимізацію нашого руху.

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

V. ПІД-регулятор

Пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) регулятор – пристрій в керуючому контурі зі зворотним зв'язком. Використовується в системах автоматичного управління для формування сигналу керуючого з метою отримання необхідних точності і якості перехідного процесу. ПІД-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.

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

ПІД регулятор складається з трьох складових (рисунок 1): пропорційної P, що інтегрує I 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.

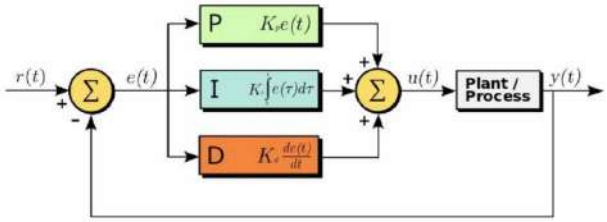


Рис. 1. Схема принципу роботи ПІД-регулятора

kP, kI і kD 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, ПІ, ПД, 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 керовану 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 kI, 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 D складова реагує на зміну сигналу з датчика, і чим сильніше відбувається ця зміна, тим більше значення додається до загальної суми. D 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. D складова в першу чергу потрібна для швидких систем, тобто для систем із різкими змінами. D складова виправляє можливі майбутні помилки, аналізуючи швидкість.

Для налаштування регулятора потрібно варіювати коефіцієнти:

– при збільшенні kP 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 kP реальна система втрачає стійкість та починаються коливання.

– при збільшенні kI зростає швидкість компенсації помилки, що накопичилася, що дозволяє вивести систему точно до заданого значення з плином часу. Якщо система повільна, а kI занадто великий - інтегральна сума сильно зросте 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 зменшуватись до нескінченності.

– при збільшенні kD зростає стабільність системи, вона дає системі змінюватися дуже швидко. У той же час kD може стати причиною неадекватної поведінки системи та постійних стрибків сигналу керуючого, якщо значення з датчика вагається. На кожну 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 [Електроний 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

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

Ключові слова: IIoT, хмарні технології, системи захисту.

Вступ

Прямо зараз IIoT представляє особливий інтерес для виробничої, промислової та транспортної галузей. Проекти IIoT 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 простої.

Промислові підприємства можуть використовувати IIoT, 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 IIoT. 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 IIoT, 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 широкосмугових 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 IIoT можуть точно визначити, яка інформація корисна, а яку можна безпечно ігнорувати. Отримана інформація може використовуватися 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 IIoT 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 збоям 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 особливого 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.

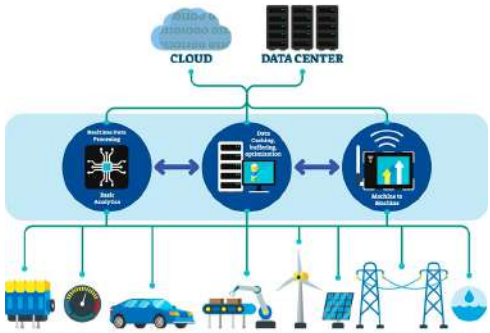


Рис. 1. Взаємозв’язок між IIoT з хмарою

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 (міжмережевий 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.

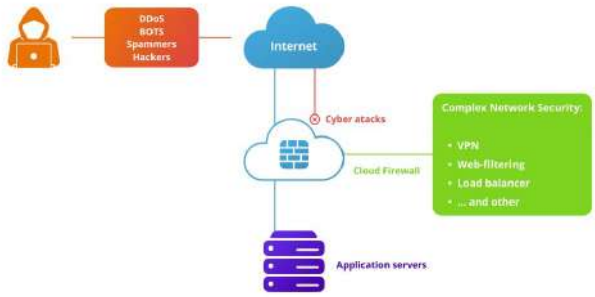


Рис.2 Принцип роботи Firewall

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 принцип 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 IIoT? – 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] ITC [Електронний ресурс]: Що таке Firewall? – Режим доступу: https://itc.ua/articles/chto_takoe_firewall/
[5] WHOER [Електронний ресурс]: Шифрування СС Режим доступу: https://whoer.net/blog/ru/shifrovanie-oblachnyx-dannyx/
[6] Jetstor [Електронниний 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 роботехнічної платформи

Дмитро Гурін[1]
1. Кафедра КІТАМ, 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 у університеті Карнегі-Меллон iRobot, Boston Dynamics, Pliant Energy Systems, Hydronalix, 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 зворотньої кінематики виміряні початкові значення, що занесені у таблицю 1) чотириногий робот має по 3 суглоби на кожній ногі. Кут є утворений суглобом, тобто маються кут тазу (A_0), кут стегна (A_1), кут гомілки (A_2).

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

Зворотні кінематичні функції, за якими будуть вестись розрахунки вимагають введення осів 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.

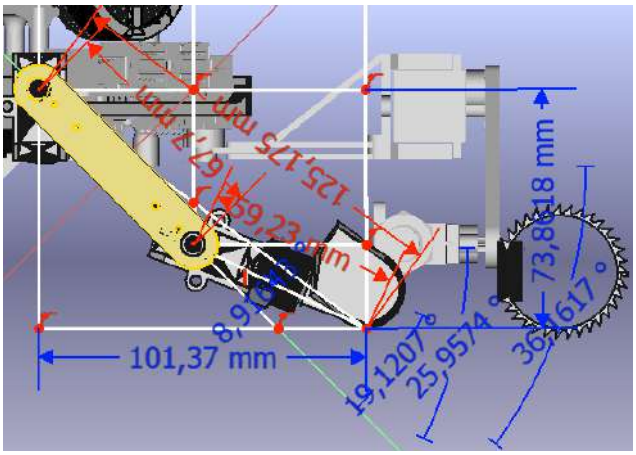


Рис.1. Вид збоку на площину, що спільна для суглобів стегна та гомілки ноги робота, які регулюють нахили платформи

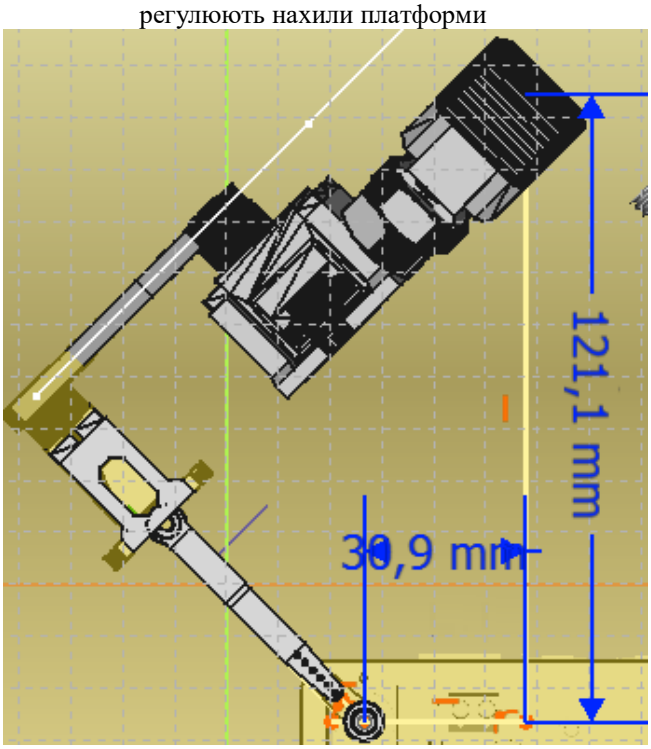


Рис.2. Вид знизу на одну з кінцівок робота

Початкові значення, отримані за допомогою програмного забезбечення 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 трикутнику з гіпотенузою від точку суглобу A_0 до точки краю ступені при вертикальному виді	X	30,9 мм
Другий катет прямокутного трикутнику 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):

$$A_0 = \arctan(Y/X) = 75^0 \quad (1)$$

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

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

У розрахунках використовується зсув L0 – 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 впроваджень корегувань, кути стегна та гомілки розраховуються такими формулами:

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

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

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

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

Віртуальна блок-система включає в собі:

– сінусоїдально-шумовий генератор значень екстремальних нахилів від гіроскопу по вісях X та Z кожне, орієнтовно від (-55)° до 55°;

– 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)° до 60°, які потім надають надають значення корегування на сумацію по потоку даних нахилів, що перевіряються;

– дисплеї значень початкових нахилів впливу, нахилів корегувань та нахилів-результатів.

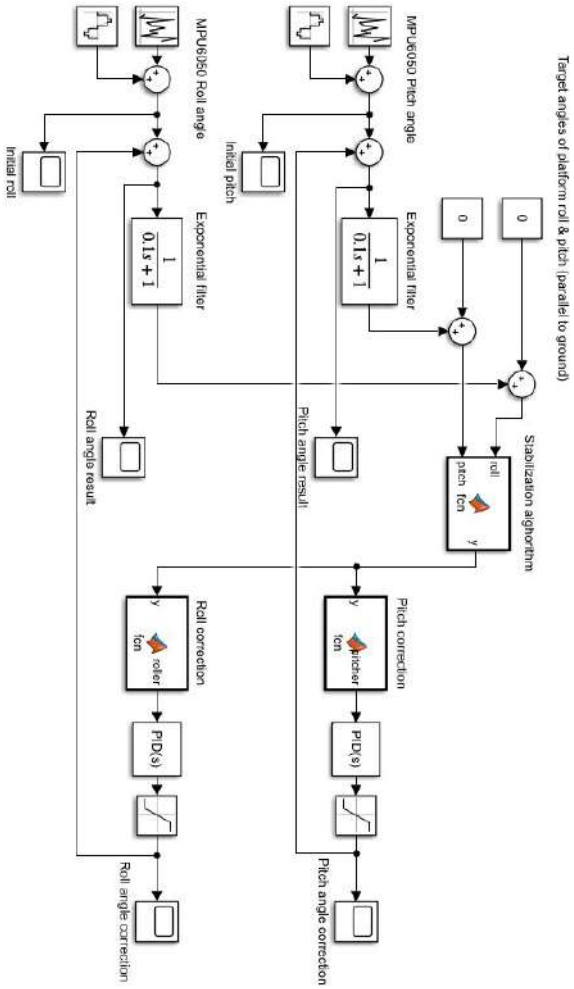


Рис.3. Блок-система балансування

На рисунку 4 представлено параметри ПІД-регуляторів.

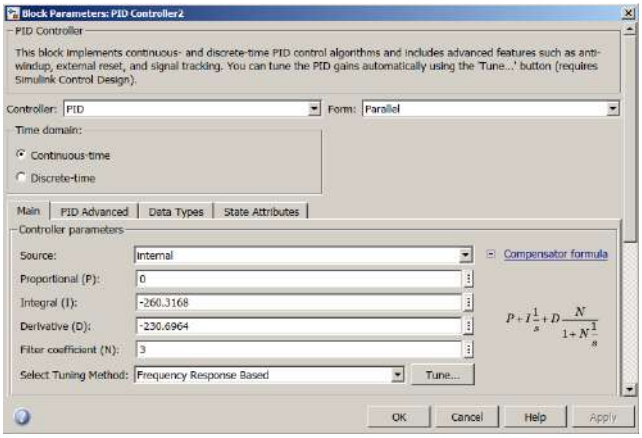


Рис.4.Резульати налаштування ПІД –регуляторів

Графіки результатів моделювання представлені на рисунках 5-6.

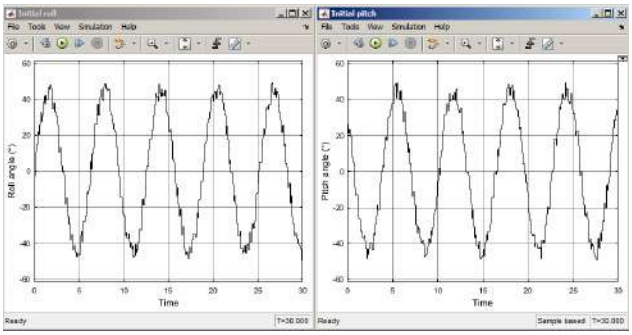


Рис.5. Графіки початкових значень нахилів з гіроскопу

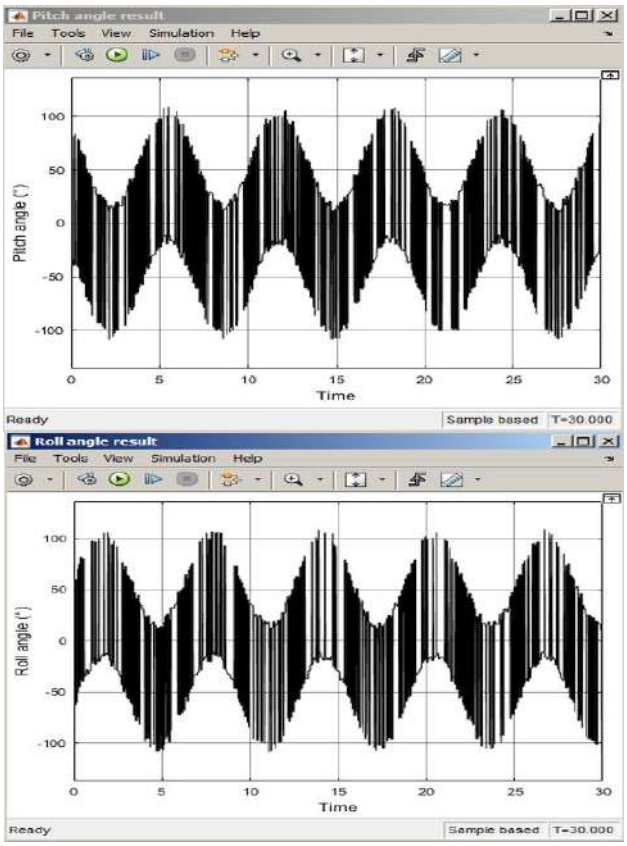


Рис.6. Графік значень корегувальних нахилів

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[1], Дмитро Янушкевич[2]
1. Кафедра КІТАР, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА,
Харків, пр. Науки. 14., email: 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 направлення 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 різаки 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 — повноприводний 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	1320мн	1750мн
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 батарєї)	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 відкривання 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 ІЧ: Допомагають 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[1], Іванов Леонід[1]
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

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 вольта 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.

Різке 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, електродриль – 1000 В.

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

– Режими 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 високофаховому 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 перетворювання. 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 елементу 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.

[2] Що таке перетворювач частоти. Advance: 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[1], Георгій Борисов [1]
1. Кафедра КІТАР, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА, Харків, пр.Науки 14., email: : 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

Актуатори - 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 довільними 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] 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

[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[1],Канаєв Владислав [1]
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 ориентації. 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/razvitie-robototexniki-budushee-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 IIoT в Інформаційних Технологіях

Олена Чала, Анатолій Сливка
1. Кафедра КІТАР, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА,
Харків, пр. Науки. 14., email: olena.chala@nure.ua, anatolii.slyvka@nure.ua

Анотація: В тезах доповіді було проведено аналіз особливості побудови та функціонування рівні промислогово 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 відповідної 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'єднаються, 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 різнорідних 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].

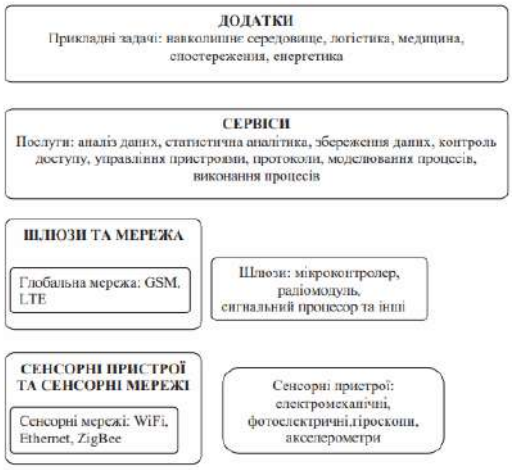


Рис.1. Архітектура IoT [3].

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 шпилькову головку, 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.

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 пропускною здатністю.

Наприклад, якщо ви будуєте 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, о 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 енергоспоживанняі забезпечує підключення з потужністю сигналу прибл. 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 ITHA 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.

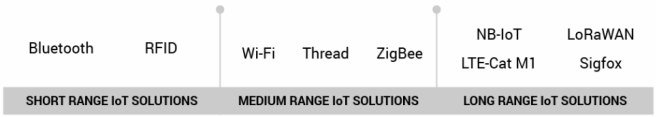


Рис.3. - Альтернативні Інтернет-протоколи IoT

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 акумулятора 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. пристрої 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 виористані у різних галузях промисловості, виробництва, машинобудування, енергетиці, безпеці та екологіці.

Правильние 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 / Технология приборостроения. Харьков, 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 «Компютерно-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 andinformational 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, email: 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 ефективне 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 підприємництві та основні функції.

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

У доповіді розглянуться 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 ефективне 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 підприємництві. 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

4.1Аналіз 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.

4.2Вибір 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.

4.3Розроблення 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.

5.2Незважаючи 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.

5.3Поради 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 визначати 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:

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

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

6.3 Функція доступу користувача 2:

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

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

6.4 Функція генерації звітів 3:

$$Звіти(Et, Ct, Tt) \rightarrow Звіт \quad (3)$$

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. Слєсарєв, 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-ої 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-ої Міжнародної конференції, 21-22 жовтня 2022 р. – Харків, 2022. – С. 115-117.

Модернізація модуля керування розсувними конструкціями виробничого приміщення з використанням IoT

Бронніков А.І[1]., Чернишов Д.І[2].
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 модернізація 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 конкурентний переваги у сучасному світі виробництва.

II. ВПРОВАДЖЕННЯ IOT-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 організовувати 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 IOT-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 доступім можна використовувати:

– шифрування: всі дані, які передаються між IoT-пристроями та серверами, мають бути зашифрованими 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 (Ef) може бути виражена як функція від таких параметрів:

– кількість розсувних конструкцій (N);

– час управління однією розсувною конструкцією без використання IoT (T1);

– час управління однією розсувною конструкцією з використанням IoT (T2).

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

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

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

– зручність без використання IoT (C1);

– зручність з використанням IoT (C2).

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

де Σ 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 (Ci): 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 можно оновимо математичну модель:

Ефективність виробництва (Ef): Ми можемо оновити формулу для ефективності, враховуючи швидкість IoT-з'єднання:

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

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. Ярощук. – 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.І[1]., Нищета В.Є[2].
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 техологій 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, кондиціонуванням виробничого приміщення, Arduino, технологія Internet of Things(IoT).

I. ВСТУП

Сучасні виробничі приміщення стикаються з ростом вимог до оптимальних умов для виробничих процесів та зменшенням 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 IOT 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 управлінцям [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 CO2: датчики CO2 вимірюють рівень вуглекислого газу в повітрі, що дає змогу визначати 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:

$$E = \frac{m*(Ti-To)}{R*C} \quad (1)$$

де: E – витрати енергії на кондиціонування (у ватах або кіловатах).

m – маса повітря, яке потрібно охолодити (у кількості кілограмів або літрах).

Ti – початкова температура повітря в приміщенні (у градусах Цельсія).

To – 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 Ti до бажаної температури To, 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 кондиціонуванням виробничого приміщення з використанням технології IoT.

У даній роботі було представлено результати досліджень і розробки системи інтелектуального керування кондиціонуванням 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. Ярощук. – 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 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] 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. Безкоровайний. – 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[1], Плахтій Олександр[2]
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 напряму 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: колаборатиний 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).

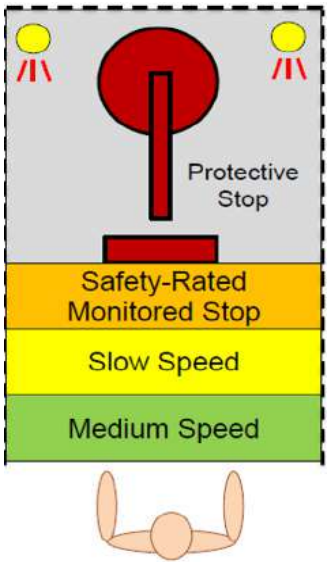


Рис 1. Приклад зонування робочого простору для режиму «Speed and separation monitoring»

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 людино. Як альтернатива робоча зона може просто розділятись 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 швидкість, якщо в допустимій зоні відсутні люди.

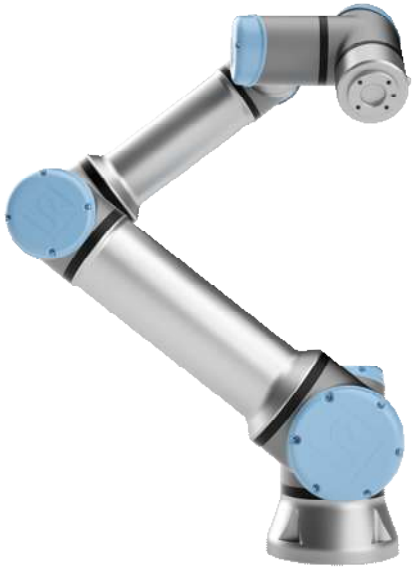


Рис. 3. Universal Robots UR16e

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.

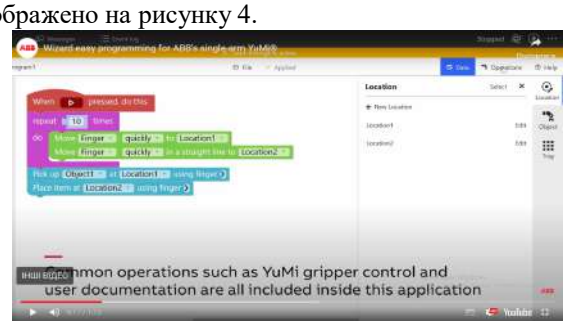


Рис.4. Програма для колаборативного робота ABB

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/lra.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[1]

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, ate 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 (IEC), вимогами до якості друкованих плат (ДП) і паяних з'єднань - стандартами ICP, 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 вибірковим 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 англомовній 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 витоку

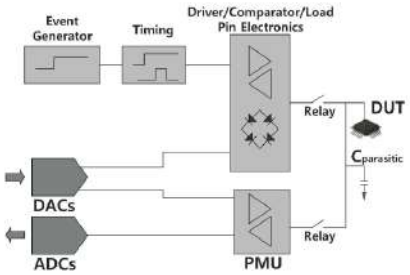


Рис.2. Блок-схема включення PMU в тестер IMC.

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 виводами 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.

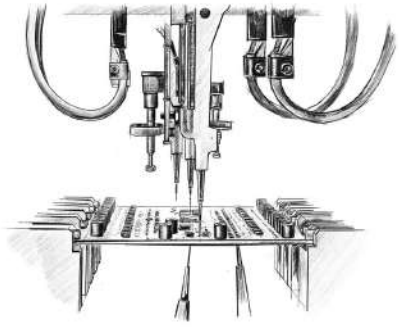


Рис.3. Електроконтроль ДП.

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 багатошарових 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 витоку.

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	AOI	AXI	ICT
1	2	3	4
Дефекти пайки			
Обрив ланцюга	+	+	+
Замикання припоєм сусідніх виводів	+	+	+
Нестача припою	+	+	-
Каверни всередині пайки	-	+	-
Надлишок припою	+	+	-
Якість припою	-	+	-
Дефекти компонентів			
Підняті виводи	+	+	+
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 виводів	-	+	+
Непропай виводів	-	+	+

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 ICT.

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 швидкодіючих 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 розпараллелювання 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_equipment/electrical_testing_equipment/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

Способи удосконалення модуля автоматичного управління перетворювача напруги блоку живлення електроробокара

Дмитро Лобанов[1], Леонід Іванов[1]

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

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

Анотація: у даній роботі розглядається питання удосконалення модуля автоматичного управління перетворювача напруги блоку живлення електроробокара. Технічні аспекти цього удосконалення включають оптимізацію топології інвертора, вибір та оптимізацію напівпровідникових компонентів, розробку системи терморегулювання та алгоритмів управління. Надійність та безпека також є важливими аспектами удосконалення, враховуючи створення систем автоматичного захисту та виявлення несправностей, а також дотримання стандартів електробезпеки та ізоляції небезпечних елементів**.**

Ключові слова: удосконалення, автоматичне управління, перетворювач напруги, блок живлення, електроробокар.

I. Вступ

Блок живлення — це вторинне джерело живлення, призначене для забезпечення живлення електроприладу електричною енергією, при відповідності вимогам її параметрів: напруги, струму тощо шляхом перетворення енергії інших джерел живлення [1].

Рисунок 1. Сучасний блок живлення для електроробокарів фірми Aiways (КНР)

На рис.1 представлений зовнішній вигляд сучасної акумуляторної батареї (АКБ), яка використовується у якості блоку живлення для сучасних електроробокарів. Акумуляторна батарея фірми Aiways, ємність якої становить 63 кВтг, має сендвіч-структуру (тобто багатошаровий бутерброд): вона складається з осередків, радіатора системи охолодження та ізолюючої плити. І саме ізолююча плита виконує роль щита: вона розташо-вується між радіатором і осередками, і в разі деформації блоку не допускає протікання охолоджуючої рідини (холодоагенту).

Перетворювач напруги – це пристрій, за допомогою якого здійснюється перетворення електричної енергії для зарядження джерел живлення.

Принцип перетворювання напруги наведено на рис.2.

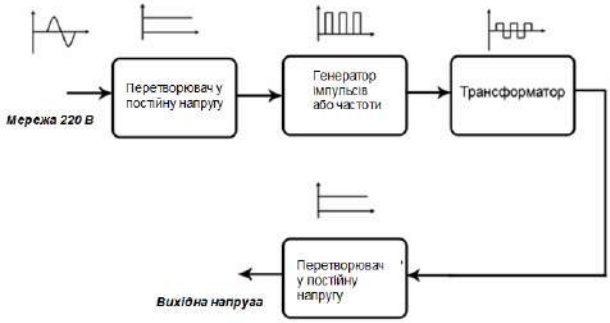


Рисунок 2. Функціональна схема простого перетворювача напруги

Перший блок здійснює перетворення змінної напруги мережі в постійну. Такий перетворювач складається з діодного мосту, що випрямляє змінну напругу, і конденсатора, що згладжує пульсації випрямленої напруги. У цьому блоці також знаходяться додаткові елементи: фільтри мережевої напруги від пульсацій генератора імпульсів і термістори для згладжування стрибка струму в момент включення. Однак цих елементів може не бути з метою заощадження на собівартості.

Технічні аспекти удосконалення модуля автоматичного управління перетворювача напруги блоку живлення електроробокара включають в себе наступні пункти:

1. Оптимізація топології інвертора:

– Розробка оптимальної електричної схеми інвертора для максимізації ефективності роботи та мінімізації втрат енергії.

– Вибір типу інвертора (наприклад, однофазний або трифазний) відповідно до потреб системи.

2. Вибір та оптимізація напівпровідникових компонентів:

– Вибір та оптимізація потужних транзисторів (наприклад, IGBT або MOSFET) для забезпечення високої продуктивності та надійності.

– Розробка систем охолодження для ефективного відведення тепла від напівпровідникових компонентів.

3. Терморегулювання:

– Розробка системи терморегулювання, яка контролює температуру перетворювача та компонентів для запобігання перегріву.

– Використання термічних датчиків та систем охолодження для забезпечення оптимальної роботи.

4. Розробка алгоритмів управління:

– Розробка високоефективних алгоритмів керування, які дозволяють регулювати напругу та струм відповідно до вимог та режимів роботи.

– Застосування алгоритмів модуляції (наприклад, PWM) для керування величиною та частотою напруги на виході.

II. Надійність та безпека

Надійність та безпека є критичними аспектами удосконалення модуля автоматичного управління перетворювача напруги блоку живлення електроробокара. Розглянемо ці аспекти більш детально:

1. Надійність модуля управління:

– Забезпечення надійної роботи модуля у будь-яких умовах експлуатації та навантаження.

– Проведення відповідних тестів щодо випадків викиду, перенавантаження та інші негативні впливи.

2. Система автоматичного захисту:

– Розробка системи, яка автоматично виявляє потенційно небезпечні ситуації, такі як перевантаження, короткі замикання чи перегрів, і виключає модуль для запобігання аваріям.

– Використання захисних реле, аварійних вимикачів та систем миттєвого відключення та використання засобу захисту від помилок та збоїв роботи програми.

3. Електробезпека:

– Дотримання стандартів електробезпеки, які забезпечують безпечну роботу модуля для операторів і обслуговуючого персоналу.

– Захист від короткого замикання та ізоляція небезпечних елементів.

4. Системи виявлення несправностей:

– Включення системи виявлення несправностей, яка може вчасно виявляти і сигналізувати про проблеми у роботі модуля.

– Використання сенсорів для вимірювання температури, струму, напруги та інших параметрів для виявлення аномалій.

Енергоефективність грає важливу роль в роботі електроробокарів і є ключовим аспектом удосконалення модуля автоматичного управління перетворювача напруги. Забезпечення високої ефективності перетворення енергії має кілька ключових переваг:

1. Збільшення діапазону роботи:

Підвищення енергоефективності дозволяє електроробокару працювати на одному заряді більшу кількість годин, що покращує його продуктивність та здатність до виконання завдань.

2. Зменшення витрат пального:

Зниження споживання електроенергії або збільшення ефективності використання дозволяє зменшити витрати на електроенергію та збільшити відстань, яку можна подолати на одному заряді блоку акумуляторів.

3. Екологічна безпека:

Відсутність викидів CO_2 та інших шкідливих речовин при збільшенні ефективності допомагає знизити негативний вплив на довкілля та сприяє створенню більш екологічно чистого транспорту.

Для забезпечення енергоефективності модуля автоматичного управління перетворювача напруги можна вжити такі заходи:

1. Оптимізація перетворювача:

Розробка та використання оптимальних топологій та компонентів для мінімізації втрат при перетворенні електроенергії.

2. Регенерація енергії:

Використання систем рекуперації енергії для збереження енергії під час гальмування та сповільнення і подальше використання її.

3. Керування струмом та напругою:

Використання алгоритмів керування, які дозволяють точно контролювати струм та напругу в системі.

4. Системи охолодження:

Забезпечення ефективного охолодження компонентів, що працюють при високих навантаженнях, для зменшення термічних втрат.

4. Системи діагностики:

Використання систем моніторингу та діагностики, які дозволяють виявляти несправності та оптимізувати роботу.

5. Інтеграція з іншими системами:

Оптимальна взаємодія модуля управління з іншими системами, такими як система управління двигуном та система рекуперації енергії.

Забезпечення високої енергоефективності є важливим завданням для підвищення конкурентоспроможності та сталості електроробокарів у сучасному електричному транспорті.

III. Інтеграція модуля

Діагностика та моніторинг є важливою частиною модуля автоматичного управління перетворювача напруги блоку живлення електроробокара. Ця система надає інформацію про стан модуля та допомагає операторам та обслуговуючому персоналу вчасно виявляти та усувати проблеми. Розглянемо цей аспект більш детально:

1. Система моніторингу:

– включення сенсорів та датчиків, які надають інформацію про робочі параметри модуля управління, такі як температура, струм, напруга, частота та інші.

– використання систем збору даних для запису та аналізу параметрів роботи в реальному часі.

2. Діагностика несправностей:

– розробка алгоритмів діагностики, які автоматично виявляють та сигналізують про можливі несправності в модулі.

– включення системи виявлення коротких замикань, перевантажень, надмірної температури та інших проблем.

3. Система віддаленого моніторингу:

– забезпечення можливості віддаленого моніторингу параметрів роботи модуля управління за допомогою мережі зв'язку.

– віддалений доступ до даних моніторингу для операторів, обслуговуючого персоналу та інженерів для вчасної реакції на проблеми.

4. Інформаційні панелі та сигналізація:

– встановлення інформаційних панелей та світлової/звукової сигналізації для операторів та обслуговуючого персоналу, які надають інформацію про стан системи.

5. Запис подій та журналів:

– зберігання даних про події та стан модуля управління для подальшого аналізу та відстеження роботи системи в часі.

Відповідність стандартам електробезпеки та екологічних вимог є ще однією важливою частиною розробки модуля управління. Дотримання цих стандартів забезпечує безпеку роботи та відповідність всім необхідним нормативам та законодавству. Основні аспекти в цьому контексті включають:

1. Електробезпеку:

– дотримання стандартів безпеки електричних пристроїв та перетворювачів напруги.

– відповідність вимогам ізоляції, заземлення та захисту від коротких замикань.

2. Екологічну безпеку:

– забезпечення відповідності вимогам щодо обмеження викидів шкідливих речовин та впливу на довкілля.

– врахування аспектів вторинної обробки та утилізації в разі викидів або відходів.

3. Стандарти якості:

– дотримання стандартів якості виробництва та контролю за процесами.

Дотримання цих стандартів є обов’язковим для забезпечення безпеки та якості роботи модуля управління та електроробокара загалом.

IV. Інтеграція системи

Інтеграція системи управління є важливою частиною розробки та удосконалення модуля автоматичного управління перетворювача напруги блоку живлення електроробокара. Ця інтеграція дозволяє забезпечити взаємодію модуля з іншими компонентами та системами електроробокара. Розглянемо цей аспект детальніше:

1. Система управління двигуном:

– інтеграція модуля управління з системою управління двигуном дозволяє забезпечити точне та координоване керування рухом транспортного засобу.

– взаємодія з системами регулювання швидкості, напрямку та іншими параметрами руху.

2. Система рекуперації енергії:

– інтеграція з системою рекуперації енергії для збереження та використання втраченої енергії при гальмуванні та сповільненні.

– оптимальне керування процесами зарядки та розрядки батарей електроробокара.

3. Система енергозбереження:

– взаємодія з системами енергозбереження для оптимального використання енергії та ефективного режиму роботи.

– вимкнення або зниження потужності модуля управління в режимах, коли це необхідно для економії енергії.

4. Системи безпеки та моніторингу:

– інтеграція з системами моніторингу та діагностики, які надають інформацію про стан модуля управління та інших систем електроробокара.

– взаємодія з системами безпеки для виявлення небезпечних ситуацій та аварій.

5. Керування електронікою автомобіля:

– інтеграція модуля з системами електроніки автомобіля, такими як системи керування підвіски, системи безпеки, аудіосистеми та інші.

– взаємодія з елементами інтерфейсу, такими як кермо, педалі газу та гальма.

6. Система навігації та автономного керування (за наявності):

– інтеграція з системою навігації та автономного керування, яка дозволяє електроробокарові автоматично керувати маршрутом та виконувати завдання без втручання оператора.

– взаємодія з системами GPS та іншими сенсорами для точної локації та навігації.

7. Система комунікації:

– забезпечення можливості обміну даними з іншими елементами системи та віддалений моніторинг та керування через мережу зв'язку.

– взаємодія з системами зв'язку та передачі даних для обміну інформацією.

Інтеграція системи управління дозволяє створити злагоджений та ефективний механізм керування електроробокаром, який враховує всі аспекти його роботи та взаємодіє з іншими системами для досягнення оптимальних результатів.

Перелік посилань

[1] Невлюдов І.Ш. Автоматизована система керування технологічними процесами в SCADA системі TRACE MODE 6: Навчальний посібник / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, В.В. Євсєєв, С.С. Максимова, М.Г. Стародубцев, В.В.Невлюдова. Кривий Ріг: Криворізький коледж НАУ, 2018. 320 с.

[2] 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.

[3] 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.

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

Ілля Лисенко[1], Леонід Іванов[1]
1. Кафедра КІТАР, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА, Харків, пр. Науки. 14, email: illia.lysenko@nure.ua
1. Кафедра КІТАР, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА, Харків, пр.Науки 14, email: leonid.ivanov@nure.ua

Анотація: робота присвячена проблемі недостатнього охолодження акумуляторних батарей автономного ходу електричного транспорту, зокрема тролейбуса PTS-12.

Ключові слова: охолодження, акумуляторні батареї, електричний транспорт, тролейбус PTS-12, ефективність системи.

I. Вступ

Громадський електричний транспорт набуває все більшого попиту через свою екологічність та високу ефективність. Акумуляторні батареї автономного ходу є основним джерелом живлення для багатьох електричних транспортних засобів, які ідеально підходять для багатозмінного високоінтенсивного режиму роботи. Проте, їхній ефективний робочий режим суттєво залежить від умов експлуатації, зокрема від температурного режиму. Оптимізація та автоматизація систем охолодження є важливим аспектом для забезпечення довготривалої та ефективної роботи акумуляторних батарей автономного ходу.

Тролейбус PTS-12 є найновішим вітчизняним тролейбусом з функцією автономного ходу (рис. 1.1), який збирається на базі кузова МАЗ-203Т київським підприємством «Політехносервіс», що знаходиться у м. Бровари [1].

Рисунок 1.1 – Тролейбус PTS-12

Дані тролейбуси вже експлуатуються у Вінниці та Харкові. На тролейбус PTS-12 встановлюються тягові акумуляторні батареї (ТАБ) з елементами літій-іонних батарей, життєвий цикл розряду-заряду яких понад 8000, енергоємністю 65 кВт/год, номінальною потужністю
65 кВт, максимальною потужністю 195 кВт, номінальною напругою 588 В та мінімальною напругою 469 В. В залежності від умов руху, ТАБ забезпечує рух транспортного засобу з максимальною навантаженістю на відстань до 20 км [2,4].

ТАБ використовується до початку руху тролейбуса на ділянці маршруту, де відсутня контактна мережа. Акумуляторна батарея представляє собою корпус з послідовно з'єднаними комірками з літій-іонними акумуляторами, приклад наведено на рис. 1.2.

Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд літій-іонної акумуляторної батареї

Батарейні блоки оснащуються сучасною автоматикою керування зарядом і розрядом батарей, аналізуючи токи споживання, напругу, температуру та інші показники стану батареї з можливістю виведення інформації на ПК або планшет.

II. Визначення проблеми та її актуальність.

Літій-іонні акумулятори мають один суттєвий недолік – вони дуже чутливі до температури. Їх точка кипіння +60°C, якщо температура буде близька до цього показника то батарея може вибухнути, спалахнути або просто вийти з ладу. З метою запобігання таким випадкам в корпус батарей вбудовано контролер, який стежить за рівнем температури та напругою струму, щоб, у випадку перегріву батареї відключити її [3].

Оскільки, в тролейбусах PTS-12 дані акумуляторні батареї знаходяться всередині салону, у відсіку під сидіннями по лівому та по правому борту тролейбуса (рис. 2.1), то проблема з чутливістю до високих температур стає більш актуальною в теплу пору року,

адже температура всередині відсіку збільшується, за рахунок нагрівання корпусу тролейбуса та підвищення температури в салоні, що може привести до поломки акумуляторної батареї, якщо її вчасно не охолодити.

Рисунок 2.1 – Розташування акумуляторних батарей тролейбусу PTS-12

Як приклад, можна розглянути вирішення цієї проблеми в тролейбусах типу Богдан Т70117, в якому літій-іонні акумуляторні батареї знаходяться на даху, у відсіку з отворами (рис 2.2). В даному випадку охолодження відбувається за рахунок зустрічного потоку вітру, тобто за рахунок вентиляційної системи підтримується оптимальна температура для ефективного функціонування акумуляторних батарей.

Рисунок 2.2 – Розташування акумуляторних батарей на даху тролейбусу Т70117 Богдан

Отже, проблема полягає в недостатньому охолодженні акумуляторних батарей автономного ходу під час експлуатації тролейбуса PTS-12. Акумуляторні батареї автономного ходу відіграють критичну роль в забезпеченні ефективної роботи тролейбуса при роботі поза контактною мережею.

III. Мета дослідження.

Метою дослідження є визначення цілей та завдань для розробки та впровадження системи автоматизованого управління охолодженням акумуляторних батарей електричного транспорту, зокрема тролейбуса PTS-12. Конкретні цілі та завдання дослідження включають:

Оптимізація ефективності батарей: розробка системи охолодження, яка дозволить знижувати температуру акумуляторів під час роботи, що сприятиме збереженню їхньої ємності та підвищенню продуктивності.

Підвищення тривалості служби батарей: забезпечення оптимальних умов роботи для акумуляторних батарей, що сприятиме підвищенню їхнього терміну служби та зменшенню необхідності у заміні.

Зменшення витрат енергії: створення системи, яка використовує менше енергії для охолодження батарей, що допоможе підвищити енергоефективність транспортного засобу.

Забезпечення безпеки: розробка системи контролю та захисту, яка мінімізує ризик перегріву акумуляторів та можливих аварій.

Підвищення відповідності до екологічних стандартів: створення системи, яка сприятиме зменшенню викидів шкідливих речовин і допоможе відповісти вимогам екологічної безпеки.

IV. Обґрунтування важливості розробки системи охолодження для акумуляторних батарей електричного транспорту

Важливість розробки системи охолодження для акумуляторних батарей електричного транспорту, зокрема тролейбуса PTS-12, може бути обґрунтована з кількох ключових позицій:

1. Підвищення продуктивності та діапазону пробігу:

   Охолодження акумуляторів дозволяє підтримувати їхню оптимальну температуру роботи. Перегрів батарей може призводити до зменшення ємності та втрати продуктивності. Завдяки системі охолодження, можна підвищити ефективність батарей та збільшити діапазон пробігу транспортного засобу на одному заряді, що важливо для користувачів і підвищує конкурентоспроможність електричного транспорту.

2. Збільшення тривалості служби батарей:

   Забезпечення оптимальних умов роботи для акумуляторів сприяє подовженню їхнього терміну служби. Це має важливе економічне значення, оскільки зменшує потребу в регулярній заміні та відновленні батарей, що відображається на вартості обслуговування електричного транспорту.

3. Зменшення споживання енергії:

   Оптимізована система охолодження допомагає знизити витрати енергії на охолодження батарей, що призводить до підвищення загальної енергоефективності електричного транспорту. Це особливо важливо в умовах ростучих цін на енергоресурси та питань екологічної сталості.

4. Забезпечення безпеки та запобігання аваріям:

Перегріті батареї можуть стати причиною небезпечних ситуацій, включаючи аварії та вибухи. Система охолодження може забезпечити безпеку пасажирів, водіїв та навколишнього середовища, запобігши перегріву батарей та надаючи систему контролю і виявлення небезпеки.

5. Відповідність стандартам та законодавству:

Вдосконалена система охолодження може допомогти електричним транспортним засобам відповідати стандартам екологічної безпеки та вимогам законодавства щодо використання акумуляторних батарей в електричному транспорті.

V. Види систем охолодження для акумуляторних батарей

Основні види систем охолодження для акумуляторних батарей, які існують на теперішній час, можна представити так, а саме:

1. Пасивне охолодження:

Пасивні системи використовують природні або термічні властивості матеріалів для розподілу тепла. Це може бути через теплопровідні матеріали або спеціальні конструкції, які сприяють природному виведенню тепла.

2. Активне охолодження:

Активні системи охолодження використовують електричні пристрої, такі як вентилятори або компресори, для активного відведення тепла з батарейного пакету. Ці системи можуть бути повітряними або рідинними, залежно від конструкції.

3. Рідинне охолодження:

Рідинні системи охолодження використовують теплообмінники та охолоджуючі рідини для відведення тепла з батарейного пакету. Ця система може бути більш ефективною у керуванні температурою батарей та забезпеченні оптимальних умов.

4. Холодопостачання зовнішнього середовища:

Деякі електричні засоби використовують системи для охолодження акумуляторів, які використовують холодопостачання зовнішнього середовища під час заряжання або стояння.

5. Холодильні пластини:

Фазово-змінні матеріали можуть використовуватися для поглинання та віддачі тепла, допомогаючи підтримувати стабільну температуру акумуляторних батарей. Вони можуть забезпечувати теплообмін в оптимальних температурних межах.

Вибір конкретної системи охолодження залежить від дизайну батарейного пакету, кліматичних умов та інших факторів. Ефективне охолодження акумуляторних батарей підвищує ефективність їх роботи та подовжує строк їхньої експлуатації.

VI. Висновки

Розробка та впровадження автоматизованої системи охолодження для акумуляторних батарей тролейбуса PTS-12 є важливим кроком у забезпечені ефективності та надійності електричного транспорту. Ця система дозволить зберігати оптимальну температуру акумуляторних батарей, забезпечуючи їхню тривалу та ефективну роботу. Також, автоматизовані системи охолодження сприяють зменшенню споживання енергії, що є важливим аспектом для сталого розвитку та економії ресурсів.

Перелік посилань

[1] Офіційний сайт «Політехносервіс» [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://ptsukraine.com/

[2] Інструкція по експлуатації тролейбуса PTS-12.

[3] Lithium-ion battery [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion_battery.

[4] Офіційний сайт компанії «Форклифт Сервіс» [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://fsua.com.ua/akumulyatori/. Буклет характеристик «TAB traction batteries».

Аналіз конструкції маніпуляторів роботехнічних пристроїв для переміщення вибухонебезпечних предметів

Редько Денис[1], Дмитро Янушкевич[2]
1. Кафедра КІТАР, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА, Харків, пр. Науки. 14., email denys.redko@nure.ua
2. Кафедра КІТАР, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА, Харків, пр. Науки. 14., email: dmytro.ianushkevych@nure.ua

Анотація: У доповіді наводяться актуальні питання моделювання конструкції маніпуляторів роботехнічного засобів для переміщення вибухонебезпечних предметів, що є важливим та актуальним завданням у сучасному світі, де безпека та ефективність здійснення гуманітарного розмінування стає все більше проблемою.

Ключові слова: маніпулятор, роботехніка, переміщення, вибухонебезпечні предмети, робот, гуманітарне розмінування.

I. Вступ

Протягом останнього десятиліття спостерігається швидкий темп науково-технічного прогресу, що стимулює розвиток усіх сфер життєдіяльності людини. Так, однією з найбільш перспективних сфер є робототехніка – сучасний каталізатор соціально-індустріального розвитку суспільства. Нині дедалі складніше знайти сферу, яка б не зазнала роботизації. Це, насамперед, пов'язано з роз-витком технологій, автоматизацією та оптимізацією процесів діяльності людини.

Бурхливий розвиток робототехніки в останні роки дав початок великій кількості нових роботизованих пристроїв, які застосовуються в різних сферах. Дослідження дистанційно керованих маніпуляційних роботів особливого призначення є досить актуальним на сьогодні, оскільки вони використовуються для виконання робіт у недоступних або небезпечних умовах для здоров'я людини. Саме від таких важливих характеристик робота-маніпулятора, як швидкодія, маневреність, точність позиціонування, можливість роботи в обмежених просторах залежить життя людей.

Протягом останніх років спостерігається стрімкий розвиток робототехніки, який дав початок великій кількості нових роботизованих пристроїв, яким знайшли застосування в різних сферах (машинобудування, будівництва, побуту, логістична, авіаційна, космічна, медична, військова, екстремальна тощо).

Одним із початкових етапів у складанні класифікації є конкретизацієя основних термінів (робот, робототехніка), оскільки нині немає основного загальноприйнятого визначення. Основною причиною цього, слугує те, що розуміння робототехніки змінюється в міру розвитку технологій, обростаючи все новим сенсом.

Так, одним із компромісним визначенням терміна «робот» можна вважати його трактування Міжнародної федерації робототехніки (International Federation of Robotics): «Робот – це робочий механізм, програмований по декількох осях із деяким ступенем автономності (варіюється від часткової автономії – включаючи взаємодію «людина-оператор – робот», до повної автономії – без активного втручання людини) та здатний пересуватися в межах певного середовища, виконуючи поставлені завдання» [4].

У цьому визначенні враховуються особливості роботів, що відрізняють їх від інших механічних пристроїв, – автономність і самостійне виконання поставленого завдання.

Робот здатний самостійно рухатися в середовищі й адаптуватися під поставлені завдання.

Проаналізувавши різні підходи, запропонуємо власне трактування цієї термінології: робототехніка – напрям науки та техніки, який пов'язаний із розробкою і експлуатацією автоматизованих технічних систем (роботів). Основним об'єктом вивчення є робот– автоматичний пристрій, що призначений для виконання спеціалізованих операцій та відтворення рухових та інтелектуальних функцій людини.

Традиційний підхід IFR поділяє робототехніку на два класи: промислова робототехніка (використовується з метою промислової автоматизації) та сервісна (використовується для виконання необхідної для людини (обладнання) роботи). Оскільки об'єктом нашого дослідження є робототехніка спеціального призначення, яка відноситься безпосередньо до сервісної робототехніки, то детальніше зупинимось на класифікації саме неї.

Можна використовувати декілька підходів до класифікації роботів (за класом, сферою та середовищем використання, видом, призначенням, способом пересування тощо). Перші відмінності можна зробити на основі механічної будови роботів. Їх можна поділити на нерухомих роботів, тобто маніпуляторів, мобільних та комбінованих. Останні двакласи використовують для пересування рухоме шасі з автоматично керованими приводами. За способом пересування їх розрізняють: колісні, крокуючі, гусеничні, летючі, повзучі та плавучі. За видом поділяють на автоматичні, біотехнічні, інтерактивні.

За робочим середовищем поділяють на виробничу та вдосконалену. Виробнича робототехніка

розташована в структурованому середовищі, геометричні чи фізичні характеристики якого здебільшого відомі, вдосконалена – розташована в неструктурованому середовищі, характеристики якого невідомі. Вона, у свою чергу, поділяється на природну (середовище не є безпечним) та службову (застосовується для покращення якості життя). Детальніша класифікація представлена на рис. 1.

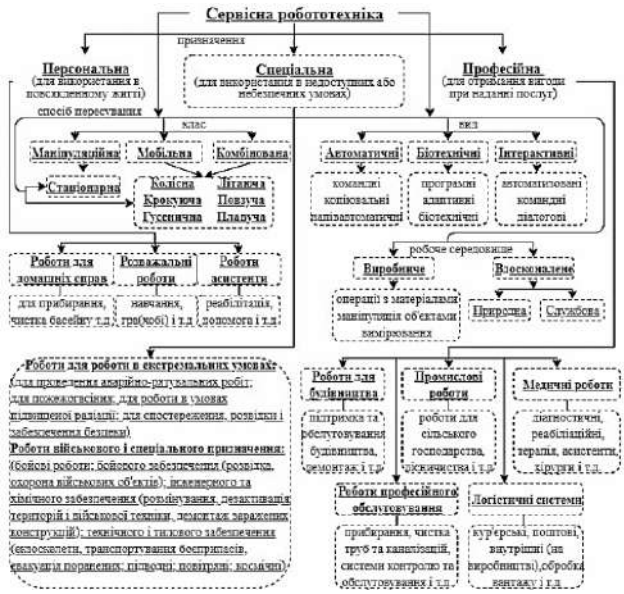


Рис. 1. Класифікація сервісної робототехніки

II. Роботи військового і спеціального призначення.

Всі воєнні конфлікти супроводжуються широким застосуванням протиборчими сторонами протипіхотних мін та вибухонебезпечних предметів (ВНП). Однією з проблем, з якою країни у всіх регіонах, де велись бойові дії або існують воєнні конфлікти, які були породжені війнами, міжнародними та міжнаціональними визвольними рухами стикаються з проблемами гуманітарного розмінування Гуманітарне розмінування – комплекс заходів, які проводяться з метою ліквідації небезпек, пов’язаних із вибухонебезпечними предметами (ВНП), включаючи нетехнічне та технічне обстеження територій, складення карт, виявлення, знешкодження та/або знищення ВНП, маркування, підготовку документації після розмінування, надання громадам інформації щодо протимінної діяльності та передачу очищеної території [4]. Гуманітарне розмінування у першу чергу спрямоване на зменшення шкідливого фактору дії ВНП на життєдіяльність людей. Мета розмінування полягає в тому, щоб знизити мінну небезпеку до рівня, при якому люди можуть жити безпечно; при якому економічний, соціальний і фізіологічний розвиток може здійснюватися безперешкодно.

Роботи, спеціально призначені для переміщення вибухонебезпечних предметів та протипіхотних мін, стають невід'ємною частиною вирішення проблеми гуманітарного розмінування. У конфліктах і війнах, незалежно від їх масштабів та місць проведення, виникає нагальна потреба у зменшенні ризиків, пов'язаних із вибухонебезпечними об'єктами (ВНП) і протипіхотними мінами.

Ця тенденція обумовлена необхідністю у високій точності та уникненням потенційно небезпечних ситуацій під час виконання різних видів робіт. Використання робототехнічних рішень з модульною структурою, які адаптовані до місцевих умов і небезпечних неструктурованих областей, може істотно підвищити безпеку працівників і одночасно покращити продуктивність та гнучкість виконання завдань. У цьому контексті, мобільні системи, що обладнані маніпуляторами для перевезення протипіхотних мін, є критично важливими для автономного або напівавтономного пересування мін у професійний, надійний, безпечний та ефективний спосіб.

Маніпулятори, яким обладнаний цей робот, мають високу прецизію та здатність працювати в небезпечних областях, де неможливий доступ людини. Їхній робочий процес відбувається за допомогою дистанційного керування, що забезпечує безпеку для оператора.

Такий робот сприяє підвищенню ефективності та продуктивності визначення і обезшкодження протипіхотних мін, а також зменшує ризики для життя і здоров'я людей. Його впровадження може мати важливий внесок у забезпечення безпеки та допомогти в усуненні небезпеки, пов'язаної з мінами і вибухонебезпечними предметами в умовах військових конфліктів або під час демінувальних операцій.

III. Технології транспортування вибухонебезпечних предметів за допомогою роботизованого пристрої

За даними організації HALO Trust, на сході України було виявлено 297 мінних полів загальною площею понад 26 мільйонів квадратних метрів. На цих територіях розташовано приблизно 3,3 мільйона мін та вибухонебезпечних предметів (ВНП). У роботі з гуманітарним розмінуванням залучаються роботизовані системи та комплекси військового (подвійного) призначення, включаючи роботизовані системи для проведення гуманітарного розмінування, як в Україні, так і за кордоном [1].

Гуманітарне розмінування - це набір заходів, спрямованих на усунення загроз, пов'язаних з вибухонебезпечними предметами (ВНП). Ці заходи включають в себе технічне та нетехнічне обстеження територій, виявлення, розмінування та знищення ВНП, а також їх маркування і інші дії [1].

Безпечне транспортування є надзвичайно важливим етапом гуманітарного розмінування. Цей процес гарантує, що вибухонебезпечні предмети (ВНП) та міни, які були виявлені і знешкоджені на території, будуть безпечно перевезені та видалені з небезпечних зон.

Ключові аспекти безпечного транспортування під час гуманітарного розмінування включають: Спеціалізовані транспортні засоби: Використовуються спеціально призначені

транспортні засоби, які відповідають вимогам безпеки та можуть захищати від можливих вибухів. Міни і ВНП повинні бути належним чином захищені та упаковані, щоб уникнути випадкового вибуху під час транспортування. Організація логістики має включати планування маршруту, перевірку і підтвердження безпеки шляху, а також забезпечення високого рівня координації між всіма відповідальними сторонами. Транспортування ВНП та мін вимагає наявності професіонального персоналу, який має відповідну підготовку і знання щодо процедур безпечного транспортування.

Роботехнічний засіб повинні мати достатню грузопідйомність та спеціальну конструкцію для перенесення ВНП до безпечних зон або на спеціально відведені майданчики для знищення. Має складатися з легкого шасі, обладнаного двома ступенями свободи, на які прикріплені металодетектор і камера. Ці прилади знаходяться на другій ланці маніпулятора. Також в арсеналі робота має бути комунікаційний модуль, призначений для обміну повідомленнями та зображеннями між роботом і оператором, а також для обробки зображень. Щодо шасі, воно має бути виготовлено з міцного алюмінію, щоб забезпечувати стійкість до механічних впливів і невелику вагу для покращеної маневреності. Шасі складається з двох шарів з достатнім простором між ними для розташування батарей та електронних плат, а також для їх захисту від зовнішнього середовища. Щоб зменшити вагу та полегшити кріплення компонентів, обидві пластини є вакуумні. Для переміщення використовуються чотири широкі колеса, які прикріплені до шасі з двигунами, розташованими з обох боків. Рух здійснюється за допомогою ланцюгового ременя, який передає рух між двома колесами. Окрема плата відповідає за керування рухом шасі, включаючи Н-міст для руху вперед і назад двигунів.

Основним підходом при розробці цього проекту є спрощення конструкції, де це можливо. Звертається увага на зменшення складності та застосування багатофункціональних компонентів, які сприяють зниженню загальної ваги системи.

Щодо руки маніпулятора, два ступені свободи розташовані у верхній частині шасі. Основа робота може обертатися навколо вертикальної осі для сканування навколишнього середовища і виявлення ВНП за допомогою металошукача та поляризованої камери для виявлення надводних і підземних мін. Друга ланка руки може рухатися вгору і вниз за потреби.

Безпечне транспортування є невід'ємною частиною гуманітарних операцій з розмінування, оскільки воно забезпечує безпеку як для персоналу, так і для місцевого населення, та допомагає уникнути подальших трагедій і зберегти життя.

IV. Аналоги моделей мобільних роботизованих комплексів

Розглянемо аналоги мобільних роботизованих комплексів які представлені на світовому ринку, їх кінематику та технічний опис, за наявністю. За перспективністю вони посідають ключові положення в розвитку інновацій та технологій у сучасному промисловому машинобудуванні.

Легкий гусеничний робот LT2-F «Bulldog» з багатоосьовим маніпулятором (рис. 2) має всі функції робота Bloodhound із додаванням знімного багатоосьового маніпулятора. Робот може здійснювати оперативну розвідку, спостереження, пошук, виявлення, вилучення, переміщення ВНП у місця для їх знешкодження, очищення, приміщень та територій, забруднених ВНП а також при проведенні контртерористичних операцій, оперативної розвідки тощо [5].

Робот може легко подолати перешкоди та сходи завдяки заднім опорам, які також виступають у ролі стабілізаторів на крутих схилах. Архітектура робота включає спеціальний пульт дистанційного керування та передню поворотну камеру. До інших доступних аксесуарів входять освітлювальна система, аудіосистема для запису голосових повідомлень, резервна відеокамера та зберігальне просторі для даних. LT2-F "Bulldog" може використовуватись для очищення приміщень та територій, забруднених ВНП, видалення підозрілих пакунків, дистанційного спостереження тощо.

Без маніпулятора робот LT2-F "Bulldog" може легко поміщатися під автомобіль, ліжко та в обмежених просторах. За наявності маніпулятора, робот може відкривати двері, переміщати та оглядати предмети, а також інспектувати меблі. Стандартна конфігурація робота LT2-F включає платформу на гусеничному ході, знімний багатоосьовий маніпулятор та систему керування, а також додаткове обладнання, таке як потужна освітлювальна система, футляр для перевезення робота, передні камери для відеоспостереження тощо.

Технічні характеристики робота LT2-F "Bulldog":

Час безперервної роботи - до 8 годин;

Швидкість - до 2 км/год;

Вага - 39 кг;

Розміри: висота із встановленим маніпулятором у режимі транспортування - 46 см (~56 см із встановленою камерою на маніпуляторі); ширина - 48 см; загальна довжина ~76 см.

Особливість робота - 6-осьовий знімний маніпулятор, з можливістю обертання плеча на 180 градусів, ліктя на 270 градусів та безперервного обертання захвату маніпулятора. Характеристики паралельного захвату для "пальців" маніпулятора включають отвір діаметром 11,4 см з силою стискання 29,5 кг та корисне навантаження на маніпулятор у повністю витягнутому стані - 6,8 кг.

Робот LT2-F "Bulldog" може бути додатково оснащений 5-тою віссю, що обертається на 315 градусів, та 6-тою віссю для здійснення нахилу захвата маніпуля тора на 160 градусів.

Рис. 2 LT2-F "Bulldog"

Рис. 3 LT2-F "Bulldog"

Найбільший робот сімейства CALIBER®, CALIBER MK4 пропонує безпрецедентні можливості буксирування та тягання у поєднанні зі швидкістю, спритністю та спритністю – все це за доступною ціною.

MK4 - найпотужніший з усіх роботів CALIBER, вантажопідйомність якого складає 90 кг. Його блок управління та управління забезпечує автоматичне попередньо встановлене позиціонування для полегшення швидкого розгортання; та 3D-аватар, який пропонує позиційний зворотний зв'язок у реальному часі за фактичним становищем робота.

На основі рекомендацій вибухотехніків модульна конструкція робота дозволяє зменшити витрати на технічне обслуговування за рахунок легкої модернізації платформи, ремонту на місцях та заміни деталей.

Рис 4. CALIBER MK4

Рис 5. CALIBER MK4

Характеристики мобільного робота CALIBER MK4

Геометричні параметри:

- висота, мм. 870
- ширина, мм. 750
- довжина, мм. 1400

Вага, кг. 333

Час роботи, год. 2

Вантажопідйомність до 90 кілограм в складеному стані маніпулятора, та 45 кілограм у вийнятиму стані.

V. Висновки

В даному матеріалі проведено аналіз актуальності розробки конструкції маніпулятора роботехнічного пристрою для переміщення вибухонебезпечних предметів. Було наведено світовий приклад, та розроблено пропозиції щодо його покращення.

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] 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.

[3] Heftier unmanned ground vehicle offers more lifting, hauling strengthat: https://www.army.mil/article/104710/heftier_unmanned_ground_vehicle_offers_more_lifting_hauling_strength.

[4] Service Robots. International Federation of Robotics. URL: https://www.ifr.org/service-robots.

[5] LT2-F «Bulldog» [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.sdrtactical.com/Robots/SDRT_Bulldog.php.

Комплексний підхід до застосування робототехнічних комплексів у сфері гуманітарного розмінування

Дмитро Янушкевич[1], Леонід Іванов[2], Ігор Толкунов[3]

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

2. Кафедра КІТАР, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА, Харків, пр. Науки. 14., email: leonid.ivanov@nure.ua

3. Кафедра піротехнічної та спеціальної підготовки, Національний університет цивільного захисту України, м. Харків, вул. Чернишевська, 94, email: tolkunov_ia@ukr.net

Анотація: У доповіді проведено аналіз комплексного підходу до застосування робототехнічних засобів у сфері гуманітарного розмінування.

Ключові слова: гуманітарне розмінування, робототехнічні засоби, пошук, ідентифікація, вибухонебезпечні предмети.

I. Вступ

Унаслідок російського вторгнення Україна стала однією з найзамінованіших країн у світі. І тому важливо необхідні креативні підходи до розв'язання питань гуманатарного розмінування із застосуванням робототехнічних комплексів та систем зі штучним інтелектом, які можуть без втручання людини визначати наявність небезпек на територіях, забруднених вибухонебезпечними предметами (ВНП).

За наявними даними, на сьогодні близько 160 000 м^2 суходолу території України потрібно обстежити на наявність вибухонебезпечних предметів. Уряд України ставить за мету, щоб за десять років 80 % цих територій були обстежені на наявність ВНП та були безпечними безпечними для життєдіяльності мирного населення та військових і необхідна базуватись на креативності підходу до системи гуманітарного розмінування.

Креативність системи гуманітарного розмінування базується на комплексному підході повинен та передбачає застосування новітніх засобів, зокрема безпілотних літальних апаратів (БПЛА), наземних робототехнічних комплексів (РТК) та систем, систем зі штучним інтелектом, які можуть без втручання людини визначати наявність небезпеки шляхом дослідження результатів обстеження території БПЛА та управління якістю розмінування.

Система управління якістю розмінування складається з двох частин:

– це гарантія якості, тобто впевненість у тому, що оператор, який заявив свою спроможність розмінувати, дійсно на це спроможний;

– контроль якості.

Пріоритетними для розмінування є об’єкти електро-, водо-, газо-, теплопостачання, критичної й транспортної інфраструктури, сільськогосподарські землі тощо.

Перший етап гуманітарного розмінування розпочинається з оцифрування супутникових даних на предмет кратерів, окопів, траншей, аномалій та інших неоднорідностей по всій території України.

Другий рівень даних – це візуальна інспекція за допомогою БПЛА, який виявляє ВНП на землі.

Третій рівень даних – це вибухонебезпечні предмети під землею. Їх шукають з допомогою магнітометрів, термокамер, мультиспекторальних камер, хімічних сенсорів і металошукачів.

Незважаючи на значну кількість наукових робіт із даної тематики, на сьогодні склалася тенденція розмежування зазначених питань.

Роботи по створенню роботтотехнічних комплесів у сфері гуманітарного розмінування ведуться в Україні і за кордоном [1]. В Україні та світі виконано значний обсяг досліджень теоретичного та експериментального характеру, які стосуються розробки мобільних роботів. Наявні окремі дослідження статичних характеристик, розроблені дослідні зразки робототехнічних комплексів у сфері гуманітарного розмінування та проведена їх апробація [2].

Тому проблема розроблення комплексного підходу до застосування робототехнічних комплексів у сфері гуманітарного розмінування є актуальним завданням.

II. Виклад основного матеріалу

Еволюція розвитку робототехнічних засобів показує, наскільки швидким є розвиток даної галузі. Від появи першого робота, який міг виконувати самі прості операції, до масового виробництва робототехнічних комплексів пройшло не більше 70 років. Як показує статистика, зростання в індустрії робототехніки продовжує бути вибуховим. Сьогодні існує величезна різноманітність роботів, які застосовуються у гуманітарного розмінування.

Гуманітарне розмінування – комплекс заходів, які проводяться з метою ліквідації небезпек, пов’язаних із ВНП, включаючи нетехнічне та технічне обстеження територій, складення карт, виявлення, знешкодження та/або знищення ВНП, маркування, підготовку документації після розмінування, надання громадам інформації щодо протимінної діяльності та передачу очищеної території [4]. Складові системи гуманітарного розмінування наведені на рис. 1 [2].

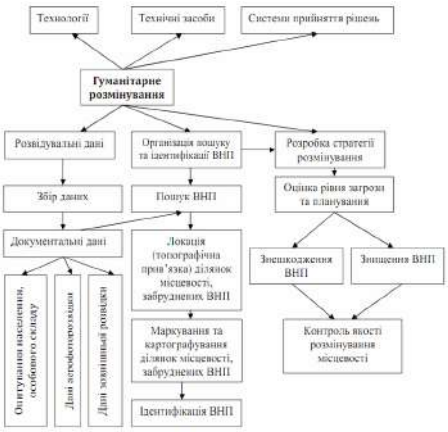


Рис.1. Складові системи гуманітарного розмінування

Гуманітарне розмінування у першу чергу спрямоване на зменшення шкідливого фактору дії ВНП на життєдіяльність людей. Мета розмінування полягає в тому, щоб знизити мінну небезпеку до рівня, при якому люди можуть жити безпечно; при якому економічний, соціальний і фізіологічний розвиток може здійснюватися безперешкодно, не наражаючись впливу обмежень, що викликаються впливом забруднення території України ВНП.

Вибухонебезпечні предмети – вибухові матеріали, боєприпаси, що містять вибухові речовини, а також біологічні та хімічні речовини: бомби і боєголовки; керовані і балістичні ракети; артилерійські, мінометні, ракетні боєприпаси і боєприпаси до стрілецької зброї; усі міни, торпеди і глибинні бомби; піротехнічні вироби; касетні бомби і касети; електричні вибухові пристрої; саморобні вибухові пристрої тощо [4].

Гуманітарне розмінування, на відміну від військового, передбачає комплексний огляд усієї території, де тривали бойові дії, визначення небезпечних районів, виявлення забруднених вибухонебезпечними предметами ділянок та їх очищення, після чого місцевість стає повністю придатною для використання.

Пошук та ідентифікація ВНП для гуманітарного розмінування з метою зменшення ризиків з питань безпеки людей, які його здійснюють, є комплексним завданням та вимагають застосування РТК для його проведення. РТК для проведення гуманітарного розмінування повинні бути оснащені відповідними детекторами (сенсорами, датчиками), засобами прийняття рішень та застосовуватись на етапах розвідки, пошуку, локації, маркування, ідентифікації, знешкодження та знищення ВНП [4].

Виявлення ВНП означає їх пошук та ідентифікацію у відповідності з їх демаскуючими ознаками. Демаскуючі ознаки ВНП зумовлені низкою чинників. До них можна віднести:

– наявність вибухової речовини;

– наявність локально розташованої маси металу (навіть в так званих «неметалічних» югославських мінах є до 0,1 г алюмінію та металева пружина для спрацювання детонатора);

– характерна форма мін та ВНП;

– неоднорідності середовища, де розміщений ВНП (порушення поверхні ґрунту, дорожнього покриття, стіни будівлі, порушення кольору рослинності або снігового покриву тощо).

Додаткові демаскуючі фактори, які можуть бути не завжди:

– наявність провідної лінії управління міною;

– наявність годинникового механізму або електронного таймера;

– наявність сейсмічного, магнітного або оптичного датчика цілі;

– наявність антени для радіоприймальних пристроїв ВНП.

Отже, ВНП можна виявляти за рахунок трьох факторів:

– наявності зосередженої маси вибухової речовини;

– характерна конструкція мін та ВНП (форм, матеріал корпусу, колір тощо);

– порушення однорідності навколишнього фону (кольору рослинності, щільності ґрунту тощо).

Основні етапи процесу гуманітарного розмінування можна розділити на етапи, які наведені у табл. 1.

Табл. 1. Етапи процесу гуманітарного розмінування

Номер етапу	Зміст етапу
1-й етап	Нетехнічне обстеження
2-й етап	Технічне обстеження
3-й етап	Розмінування території, забруднених ВНП та очищення районів ведення бойових дій
4-й етап	Утилізація (знищення, знешкодження) ВНП
5-й етап	Контроль якості розмінування та передача територій, забруднених ВНП користувачам

Нетехнічне обстеження (НТО) включає збір, аналіз та оцінювання інформації стосовно території для подальшої її класифікації за статусом небезпеки, без використання технічних засобів пошуку ВНП [5].

Метою проведення нетехнічного обстеження є класифікація за статусом небезпеки території, стосовно якої існує підозра щодо її забруднення ВНП на підставі отриманих прямих та непрямих доказів, а також підготовка пропозицій з проведення технічного обстеження, очищення (розмінування) та (або) виключення (розблокування) території.

До джерел інформації під час проведення НТО належать:

– органи виконавчої влади та самоврядування;

– місцеве населення;

–органи управління та підрозділи Збройних Сил України, інших військових формувань;

– органи військового управління та учасники бойових дій, пов'язаних із ВНП;

– карти мінних полів і територій ведення бойових дій;

– тощо.

За результатами проведення НТО класифікується за статусом небезпеки, а саме:

– імовірно небезпечна територія;
– підтверджена небезпечна територія;
– виключена територія.

Термін «технічне обстеження» відповідно до Міжнародного стандарту протимінної діяльності IMAS 08.20:2019 «Технічне обстеження» та ДСТУ-П 8820:2018 «Протимінна діяльність. Процеси управління. Основні положення» включає в себе збір та аналіз даних про наявність, тип, розподіл та навколишні умови знаходження мін та вибухонебезпечних предметів із застосуванням технічних засобів, щоб точніше визначити місце, де присутні міни та вибухонебезпечні боєприпаси, а де їх немає, для сприяння пріоритизації вивільнення земель та забезпечення прийняття рішень шляхом надання фактів [3].

Розмінування полягає у здійсненні операцій виявлення, видалення або знищення мін та вибухонебезпечних боєприпасів, а для операцій з розмінування може також бути потрібне забезпечення доступу, діагностування, приведення в безпечний стан, остаточна утилізація та (у разі потреби) захисні роботи.

Очищення районів ведення бойових дій передбачає виявлення та знешкодження в певних районах, на яких велися бойові дії і які можуть включати оборонні позиції та місця, де були випущені або скинуті авіаційні або артилерійські боєприпаси, включаючи касетні боєприпаси. Залежно від гуманітарних пріоритетів і необхідного землекористування очищення районів ведення бойових дій може включати поверхневе і підземне розчищення.

Утилізація, знешкодження (знищення) мін та вибухонебезпечних предметів включає всі аспекти виявлення та знешкодження боєприпасів, що не розірвалися, шляхом проведення операцій з розмінування. Виконання операції зі знешкодження та знищення ВНП варіюється від відносно простих методик знешкодження та відкритого підриву до дуже складних промислових процесів із залученням відповідних фахівців.

Знешкодження вибухонебезпечного предмета – спеціальні дії щодо блокування або нейтралізації виконавчих механізмів підривників ВНП (вилучення підривників з ВНП, вилучення ВНП з місця встановлення), спрямовані на приведення вибухонебезпечного предмета у безпечний стан, що виключає можливість його ненавмисного вибуху.

Знищення вибухонебезпечного предмета – переведення ВНП у недієздатний (безпечний) стан шляхом підриву, спалювання, механічного чи іншого повного або часткового руйнування з обов'язковим дотриманням вимог протимінної діяльності та запобіганням і мінімізацією негативних для населення, інфраструктури та довкілля наслідків;

Контроль якості розмінування – елемент процесу управління якістю розмінування, який забезпечує повне дотримання вимог щодо ліквідації небезпек, пов'язаних з вибухонебезпечними предметами, а також контроль за дотриманням вимог щодо якості розмінування. Якість розмінування – відповідність виконаних заходів вимогам національних стандартів протимінної діяльності з урахуванням вимог держави щодо безпеки життя і здоров'я населення.

На теперішній час передові країни світу розробляють та використовують сучасні мобільні робототехнічні комплекси (РТК) для гуманітарного розмінування.

Основна увага приділяється створенню РТК збільшеної автономності. Через специфіку завдань, що підлягають вирішенню, мобільні РТК удосконалюються для забезпечення можливості діяти в реальній обстановці за умови часткової або повної відсутності вихідної інформації про середовище функціонування. Основною тенденцією здійснення цих проєктів є дооснащення комплексів, що знаходяться на озброєнні, цифровими і аналоговими візуальними системами, засобами автоматизації управління, каналами зв'язку (радіо і оптоволоконними) та засобами управління рухом, заснованими на модульному принципі [6].

Відсутність особового складу в зоні ураження і застосування РТК значно підвищують морально-психологічний стан військовослужбовців і забезпечують ефективність виконання бойових завдань, істотно знижуючи до того ж бойові втрати.

Передові держави світу розробили ряд РТК, які застосовуються у сфері гуманітарного розмінування [6].

Американські військові використовували в Афганістані наймініатюрнішого робота-розвідника Recon Scout. Він має вагу 1,3 кг та довжину 200 мм, обладнаний звичайною й інфрачервоною камерами. Цього робота можна закидати за перешкоди.

Наймасовішим американським військовим роботом (випущено понад 3 тис. одиниць) є дистанційно-керована машина (ДКМ) «TALON», розроблена компанією Foster-Miller [1]. Американські дослідники підрахували, що цей робот знешкодив 50 тис. вибухових пристроїв. «TALON» здатний діяти за будь-якої погоди та недостатнього освітлення, долати завали та дротяні загородження, пересуватися на місцевості зі складним рельєфом, функціонувати під водою на глибині.

Стандартний робот «TALON» являє собою модульну систему, яка включає знімну руку маніпулятор з подвійним шарніром, довжиною 1,6 м.

Робот управляється за допомогою дуплексного радіозв'язку або по волоконно-оптичній лінії. Управління дистанційно керованої машиною «TALON» здійснюється оператором з пульта дистанційного керування оптоволоконним кабелем (але на дальності до 300 м) або по радіоканалу (до 800 м), а при використанні спрямованої антени дальність дії збільшується до 1200 м. Час безперервного функціонування дистанційного робота «TALON» у звичайному режимі становить 8,5 год.

Бойова маса «TALON» (52–71) кг (залежно від комплектації). Швидкість «TALON» коливається від максимальної 8,3 км/год до повзучої з можливістю безперервно працювати більше чотирьох годин. Бортове обладнання складається з денних та інфрачервоних камер, GPS-навігатора, датчиків, за допомогою яких визначаються вибухові та токсичні

речовини, а також проводиться оцінка радіаційної, хімічної та біологічної обстановки.

Важливим елементом конструкції є те, що «TALON» може нести на борту озброєння (кулемет M240 калібру 7,62 мм, снайперську гвинтівку M82A1, чотириствольну 66-мм ракетну установку M202, 40-мм гранатомети, багатоствольну Metal Storm»).

Пульт управління розміщений у футлярі, в якому також розміщений і блок живлення. Завдяки семи камерам, розташованим на борту, на екрані блоку управління безперервно відображається інформація для точного позиціонування машини. Шасі робота може нести на собі вантаж понад 90 кг для забезпечення максимальної гнучкості у будь-якій ситуації.

До найбільш розповсюджених РТК, які застосовуються у сфері гуманітарного розмінування, відносяться також військові роботи серії SuperDroid Robots,

Основне цільове призначення роботів серії SuperDroid Robots – оперативна розвідка, спостереження, пошук, виявлення, ідентифікація, вилучення, переміщення, знешкодження, утилізація ВНП, очищення приміщень та територій, забруднених ВНП, здійснення гуманітарного розмінування та виконання інших завдань, які вирішуються на тактичному рівня бойового управління. Ці роботи дають змогу зменшити людські втрати під час виконання задач з гуманітарного розмінування, проведенні контртерористичних операцій, оперативної розвідки тощо.

Дистанційний блок керування роботом (блок управління оператора – OCU) здійснюється за допомогою цифрових радіосистем, які забезпечують зашифроване дистанційне керування. Для оперативного управління роботів серії SuperDroid Robots застосовуються 3 види дистанційного керування:

– стандартний пульт дистанційного керування (рис. 2). Цей пульт міститься у футлярі, має вбудовані промислові джойстики та 12-дюймовий дисплей;

– обробка відео з чотирьох розділених екранів, яка доступна як опція. Також доступна розширена кінематична модель робота та маніпулятора, що відображається на РК-дисплеї OCU, забезпечуючи точний зворотний зв'язок щодо положення маніпулятора та виявлення перешкод та ВНП;

– ретранслятори та вторинні станції дистанційного моніторингу, які доступні для всіх цифрових систем керування роботом.

Рис. 2. – Пульт дистанційного керування

Більшість цих елементів керування є стандартними для роботів серії SuperDroid Robots. Але для забезпечення ефективності в складних умовах застосовуються спеціальні методи та пакети оперативного управління.

Бездротове керування та відеоспостереження складні, і на них можуть впливати кілька факторів. Це включає наявність перешкод, стін, електричних перешкод, рельєф та ландшафт місцевості, інші радіочастотні перешкоди тощо.

Найпростіший тип бездротового керування – аналогові RC системи радіочастотного діапазону. Вони, як правило, дешевші та досить стійкі до проблем прямої видимості: наявність стін, дерев, пагорбів тощо.

Недоліком використання аналогової системи є лише односторонній зв'язок обмежена дальність передачі даних та несумісність з ретрансляторами (мережами) системи mesh.

Цифрові системи дистанційного управління доступні в Wi-Fi, Digital і High Bandwidth Smart Radio.

Wi-Fi базовий тип передачі даних та здійснення оперативного управління. Система управління на платформі Wi-Fi сумісна з усіма доступними опціями дистанційного керування. Система Wi-Fi найкраще працює в місцях з мінімальними перешкодами між OCU та роботом. Дальність дії – до 100 м.

Digital Radio System (цифрова радіосистема), яка забезпечує підтримувати стабільний мережевий зв'язок на великих відстанях. Типовий діапазон дії від 300 м до 800 м.

High Bandwidth Smart Radio – система радіозв'язку з високою смугою пропускання, яка поєднує діапазон цифрового радіо з можливістю передачі чіткого HD-відео. Оптимізовані канали забезпечують відмінне керування, передачу аудіо та відео інформації. Інтелектуальне мікропрограмне забезпечення встановлює пріоритети для керування, забезпечуючи безперебійну роботу роботів. Типовий діапазон дії від 300 м до 800 м.

Для оперативного управління роботів серії SuperDroid Robots можуть застосовуватись також дротові варіанти (оптоволоконний кабель, «вита пара»), де застосовування радіочастотного діапазону неможливе.

Крім цих робототехнічних комплексів, найбільш розповсюдженими є такі РТК:

1. Гусенична роботизована міні-машина FirstLook 110 виробництва США (вага – 2,2 кг; розміри – (250×230×100) мм; обладнана 4 відеокамерами з підсвічуванням). Робот FirstLook 110 – це робот для використання у військових операціях (під час проведення очищення будівель, для дослідження невеликих приміщень, тунелів, окопів або дренажних штолень).

2. Військовий робот-розвідник Spybot виробництва Швейцарії. Робот SpyRobot випускається у двох варіантах – з шасі 4×4 та 6×6 (вага – 5 кг, розвідувальна апаратура включає теплові та оптичні датчики, а також радіолокаційну станцію із синтезованою апертурою). В результаті

модернізації машини SpyRobot була створена дистанційно-керована платформа (ДКП) Dragon Runner для розвідки місцевості в радіусі ефективної дальності стрільби стрілецької зброї (вага – 9 кг, розміри – (230×200×75) мм, обладнаний ІЧ-датчиками та відеокамерою).

3. Багатофункціональна платформа-робот Warrior 710 виробництва США (рис. 3). Її основними завданнями є проведення розмінування, розчищення доріг, пожежогасіння, розвідка, віддалене спостереження за місцевістю, надання допомоги при надзвичайних ситуаціях, переміщення вантажів і проведення зварювальних робіт, а також евакуація поранених.

Рис. 3. Роботизований комплекс Warrior 710

4. Гусеничний робот PackBot-510 виробництва США призначений для знешкодження вибухонебезпечних боєприпасів. PackBot може працювати з усією гамою ВНП та вирішувати проблеми утилізації звичайних боєприпасів. Його легка та надійна система маніпулятора OmniReach може розкладатися до двох метрів у будь-якому напрямку, щоб безпечно проникати у важкодоступні місця, де знаходяться саморобні вибухові пристрої, боєприпаси, міни та інші вибухонебезпечні предмети.

Водночас, одним з актуальних у світі напрямів розроблення РТК, у зв'язку з розвитком різноманітних безпілотних літальних апаратів (БПЛА), стала активізація ідеї щодо застосування БПЛА для ведення розвідки та картографування територій, забруднених ВНП, пошук, ідентифікація мін та ВНП, а також їх дистанційне знищення. БПЛА здатні піднімати апаратуру вагою понад 50 кг, зависати над об'єктами, літати автономно за закладеною у ньому програмі тощо. БПЛА здатні також виконувати завдання з дистанційного знищення мін та ВНП.

Крім того, під час ведення бойових дій і контртерористичних операцій, виникає необхідність провести приховану інженерну розвідку місцевості, маршруту руху на наявність установлених або відсутності мін, вибухових пристроїв, легкий або тактичний БПЛА вертолітного чи літакового типу, оснащений модульною малогабаритною розвідувальною апаратурою з високою розрізненою здатністю, багатозональною телевізійною, тепловізійною, нелінійною радіолокацією, у поєднанні з автоматизованою системою топоприв'язки на основі ГЛОНАСС (GPS) і цифровою обробкою інформації, що дасть змогу на відстані до десятків кілометрів виявляти і визначати координати мінних полів і місць установки мін та ВНП.

III. Висновки

Проведений аналіз дає змогу дійти висновку про існування та складність проблеми гуманітарного розмінування, яка потребує креативності та комплексного підходу до її розв'язання.

Комплексний підхід передбачає застосування новітніх робототехнічних засобів, зокрема безпілотних літальних апаратів, наземних робототехнічних комплексів та систем, систем зі штучним інтелектом, які можуть без втручання людини визначати наявність небезпеки шляхом дослідження результатів обстеження території БПЛА та управлінням якістю розмінування.

Перелік посилань

[1] 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.

[2] Янушкевич Д. А., Іванов Л. С. Сучасні тенденції застосування роботизованих систем для гуманітарного розмінування [Електронний ресурс] / Д. А. Янушкевич, Л. С. Іванов // Збірник матеріалів III форуму «Автоматизація, електроніка та робототехніка. Стратегії розвитку та інноваційні технології» AERT-2021. – Режим доступу: https://mts.nure.ua/conferences-ua/forum/aert-2021.

[3] Янушкевич Д. Роботизовані засоби спеціального призначення: аналіз міжнародних нормативних документів / Д. Янушкевич, Л. Іванов // Виробництво & Мехатронні Системи 2021 // Матеріали V-ої Міжнародної конференції, Харків, 21–22 жовтня 2021 р. – Харків: ХНУРЕ, [електронний друк]. – 2021. – С. 176–179.

[4] Янушкевич Д., Шафоростов Д. Робототехнічні системи та їх застосування для пошуку вибухонебезпечних предметів / Д. Янушкевич, Д. Шафоростов // Виробництво & Мехатронні Системи 2022 // Матеріали V-ої Міжнародної конференції, Харків, 21-22 жовтня 2022 р. – Харків: ХНУРЕ, [електронний друк]. – 2022. – С. 92-94.

[5] Підвищення ефективності робіт з гуманітарного розмінування шляхом застосування сучасних робототехнічних систем / Толкунов І. О., Янушкевич Д. А., Губар С. В., Гайовий О. О. // Об'єднання теорії та практики – запорука підвищення готовності оперативно-рятувальних підрозділів до виконання дій за призначенням. Матеріали круглого столу. – Харків: Національний університет цивільного захисту України, 28 жовтня 2022. – С. 130-132.

[6] Кириленко В. А., Нероба В. Р. // Глобальна проблема розмінування: стан та підходи до розв'язання Збірник наукових праць Центру воєнно-стратегічних досліджень Національного університету оборони України імені Івана Черняховського № 2(66). – 2019.– С. 115-119.

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

Viacheslav Korotkov[1], Igor Nevliudov[2], Yurii Romashov[3]
1. CITAR department, Kharkiv National University of Radio Electronics, UKRAINE, Kharkiv, Nauky Ave. 14, email: viacheslav.korotkov@nure.ua
2. CITAR department, Kharkiv National University of Radio Electronics, UKRAINE, Kharkiv, Nauky Ave. 14, email: igor.nevliudov@nure.ua
3. CITAR department, Kharkiv National University of Radio Electronics, UKRAINE, Kharkiv, Nauky Ave. 14, email: yurii.romashov@nure.ua

Abstract: The general approaches are developed in this research to design angular velocity PID controllers for electrical drives of different types and purposes. It is built the simplified mathematical model for the automated electrical drive with the angular velocity PID controller, and it is shown that, stability conditions obtained by using the Routh's criteria give to the infinite set for this controller's permissible parameters, and to develop such controllers, it is proposed additionally to provide the wished characteristics of the frequency functions for these automated electrical drives. Application of the proposed general approaches is illustrated on the example of the linear systems representing the wide class of the industrial automated electrical drives.

Keywords: PID-controller; angular velocity; electrical drives.

I. Introduction

Improvement of automation control systems is one effective way to have the more perfect automated electrical drives for different purposes. From this point of view, it is really important to have suitable general approaches allow providing the improve design for PID controllers, because exactly such kinds of controllers are the principal elements used to provide automation for different purposes electrical drives at present. Due to these circumstances, we have a lot of researches like [1-3] for example about improvement of the PID controllers for different kinds of automated electrical drives.

Development of the PID controller for the automated electrical drives is based usually on the mathematical models, represented by means the ordinary differential equations and the Lyapunov's method of characteristic parameters. It is obviously, that such approach leads to the infinite set of the possible PID controller's parameters providing the stability state of the researched electrical drive, so that the parameters of the improved PID controllers must be chosen from this set by using the suitable choosing procedures in agreement with the using area and purposed of the researched electrical drive, as well as in agreement with the wished kind of improvements required for the designed PID controller. Of course, the view of the mathematical model used to represent the researched electrical drive with a PID controller has the significant influence on the results of the PID controller design, so it is necessary also to have the suitable approaches to build the appropriate mathematical models allowing to represent the automated electrical drives as the automation objects, like it was discussed in the research [4] for example to provide the measurements.

The principal purpose of this research is in development of the appropriate general approaches allowing to design the angular velocity PID controllers for the automated electrical drives, so that to have the wished exploitation improvements of such drives. So, this research will cover actually all the principal stages of designing processes for the improved PID controllers of the automated electrical drives from building the appropriate mathematical models to developing the suitable procedures to define the PID controllers' parameters providing the wished exploitation improvements.

II. Theoretical backgrounds

The conventional approach to define the PID controller's parameters is based on using the mathematical model of the considering automated object represented by means the ordinary differential equations, so one of really principal problem is in developing the suitable approach to build such mathematical models for the electrical drives. It is really understandable, that they are a lot of different kinds of the electrical drives, so it is impossible to cover all these kinds by means someone mathematical model. Taking into account this circumstance, we will concentrate further the principal consideration on the general approaches allowing to build the mathematical models for the electrical drives, but only as the automation objects independently from their particularities.

The principal property of the automation objects differencing them from others kinds of systems is in inherent presence of the controlled parameters, which can be changed by means the controls. In the case the electrical drives which must provide the exactly given wished angular velocity during the operation the controlled parameter is naturally the angular velocity, but the control is the electrical voltage supplied to the electric motor. Of course, the angular velocity and the supplied voltage can be changed during the time, so for any kind of the electrical drive considered as the automation object we will have

$$\omega = \omega(t), \; u = u(t), \qquad (1)$$

where ω is the angular velocity; u is the supplied voltage; t is the time.

Taking into account the relation (1), the mathematical model representing the electrical drive as the automation

object must give the correspondence between the control and the controlled parameter. This correspondence is usually defined by means some ordinary differential equation with the necessary initial conditions, and it is suitable to have this equation linear like the following:

$$a_n \frac{d^n \omega}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1}\omega}{dt^{n-1}} + \ldots + a_1 \frac{d\omega}{dt} + a_0 \omega = b_0 u(t) \,,(2)$$

$$\omega(t_0) = \omega_0,\ \frac{d\omega}{dt}(t_0) = \omega_0^{(1)}, \ldots, \frac{d^{n-1}\omega}{dt^{n-1}}(t_0) = \omega_0^{(n-1)},(3)$$

where n is the order of the differential equation; a_n, a_{n-1}, …, a_0, b_0 are the parameters of the mathematical model; t_0 is some given time moment; ω_0 and $\omega_0^{(1)}, \ldots, \omega_0^{(n-1)}$ are the given angular velocity and their derivatives at the initial time moment $t = t_0$.

Further, to choose the parameters of the angular velocity PID controller it is suitable to represent the angular velocity (1) in the following view:

$$\omega(t) = \hat{\omega} + x(t) \,,(4)$$

where $\hat{\omega} = const$ is the given wished angular velocity, but $x(t)$ is the deviation of the wished angular velocity of the electrical drive.

Let substitute the relation (4) to the differential equation (2) of the mathematical model representing the electrical drive as thew automation object, and as the results of this we will have:

$$a_n \frac{d^n x}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} x}{dt^{n-1}} + \ldots + a_1 \frac{dx}{dt} + a_0 (\hat{\omega} + x) = b_0 u(t) \,.(5)$$

Further, we will represent the control from (1) as corrected by the angular velocity PID controller in the view:

$$u(t) = \hat{u} - k_P x - k_I \int x dt - k_D \frac{dx}{dt} \,,(6)$$

where $\hat{u} = const$ – is the given control corresponded to the wished value $\hat{\omega} = const$ of the angular velocity of the electrical drive; k_P, k_I and k_D are the parameters of the PID controller.

Due to the PID controller definition (6), the differential equation (5) will be transformed as the following:

$$a_n \frac{d^n x}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} x}{dt^{n-1}} + \ldots$$

$$\ldots + (a_1 + b_0 k_D) \frac{dx}{dt} + (a_0 + b_0 k_P) x + b_0 k_I \int x dt = b_0 \hat{u} - a_0 \hat{\omega}.$$

(7)

To represent the relation (7) in the more suitable view, it is necessary to introduce the new variable:

$$x = \frac{d\tilde{x}}{dt},\ \tilde{x}(t_0) = 0 \,,(8)$$

where $\tilde{x} = \tilde{x}(t)$ is the introduced new variable.

Exactly the introduced new variable (8) allows us to represent the relation (7) in the more suitable view of the ordinary differential equation:

$$a_n \frac{d^{n+1}\tilde{x}}{dt^{n+1}} + a_{n-1} \frac{d^n \tilde{x}}{dt^n} + \ldots$$

$$\ldots + (a_1 + b_0 k_D) \frac{d^2 \tilde{x}}{dt^2} + (a_0 + b_0 k_P) \frac{d\tilde{x}}{dt} + b_0 k_I \tilde{x} = b_0 \hat{u} - a_0 \hat{\omega}.($$

9)

The obtained relation (9) gives us the possibility to find the control $\hat{u} = const$ corresponded to the wished value $\hat{\omega} = const$ of the angular velocity:

$$b_0 \hat{u} - a_0 \hat{\omega} = 0 \ \Rightarrow\ \hat{u} = \frac{a_0}{b_0} \hat{\omega} \,.(10)$$

Taking into account the control (10), the differential equation (9), as well as the required initial conditions defined by the relations (3), (4) and (8), we can represent the mathematical model of the automated electrical drive with the angular velocity PID controller in the following final view:

$$a_n \frac{d^{n+1}\tilde{x}}{dt^{n+1}} + a_{n-1} \frac{d^n \tilde{x}}{dt^n} + \ldots$$

$$\ldots + (a_1 + b_0 k_D) \frac{d^2 \tilde{x}}{dt^2} + (a_0 + b_0 k_P) \frac{d\tilde{x}}{dt} + b_0 k_I \tilde{x} = 0, (11)$$

$$t = t_0 \Rightarrow \tilde{x} = 0, \frac{d\tilde{x}}{dt} = \omega_0 - \hat{\omega}, \frac{d\tilde{x}}{dt} = \omega_0^{(1)}, \ldots, \frac{d^{n-1}\tilde{x}}{dt^{n-1}} = \omega_0^{(n-1)}$$

From the mathematical model (11), (12) we can see, that the angular velocity deviation $x(t)$ is due to only the disturbed initial conditions. It is in fully agreement with the ideas of the Lyapunov's stability theory, so the realized approach is actually only the equivalent to those theory. Thus, the parameters of the angular velocity PID controller of the automated electrical drive must provide the stability of the characteristic polynomial:

$$f(z) = a_n z^{n+1} + a_{n-1} z^n + \ldots$$

$$\ldots + (a_1 + b_0 k_D) z^2 + (a_0 + b_0 k_P) z + b_0 k_I = 0. (13)$$

We have a lot of different well-known criteria allowing us to formulate the system of inequations for the values a_n, a_{n-1}, …, a_0, b_0 as well as k_P, k_I and k_D providing the stability property of the polynomial (13). Using all these well-known criteria is actually the typical task, and it will not be discussed here. At the same time, it is necessary to note, that as the result of using these criteria, we will have the correspondent inequalities for the k_P, k_I and k_D values of the PID controller parameters for the a_n, a_{n-1}, …, a_0, b_0 values of the parameters of the electrical drive mathematical model as the automation object. Of course, these inequalities will define the infinite set of the k_P, k_I and k_D values, and to choose those values, it can be recommended in additional to provide the wished values of the frequency functions characteristics of the automated electrical drive through their mathematical model (11), (12). Because of the such way designed PID controllers will provide additionally the wished characteristics of the frequency functions, we can consider such PID controllers as the improved. Using of the frequency characteristics is well-known, so it will not be discussed here, but it is reasonable to note, that it will be suitable to do it the transfer function of the automated electrical drive represented in the view:

$$W(s)=\frac{s}{a_n s^{n+1}+\ldots+(a_1+b_0k_D)s^2+(a_0+b_0k_P)s+b_0k_I}. \quad (14)$$

Thus, having the parameters n and a_n, a_{n-1}, …, a_0, b_0 of the mathematical model of the automated electrical drive, we can define the angular velocity PID controller parameters k_P, k_I and k_D through the stability conditions of the polynomial (13) and the wished characteristics of the frequency functions corresponded to the system with the transfer function (14). Due to these circumstances, we can see, that the principal problem to design the improved angular velocity PID controller is in building of the differential equation (2) of the suitable mathematical model of the electrical drive as the automation object. Because of they are a lot of different kinds of the electrical drives, it is really impossible in general case to give the universal approach allowing to have the parameters n and a_n, a_{n-1}, …, a_0, b_0 of the mathematical model (2) in the direct view of some analytical relations. At the same time, it is possible, and we will give the approach allowing top find the parameters n and a_n, a_{n-1}, …, a_0, b_0 of the mathematical model (2) in the implicate view through the intermediate ordinary differential equations, so that this approach will be really uniform for the different kinds of the electric drives.

To have the really general approach, we will consider further only the principal properties inherent for different kinds of the electrical drives. The principal property inherent for any kinds of the electrical drives is the presence of the electric motor as the source of the rotational couple having the electromagnetic nature and depending on the supplied voltage $u=u(t)$ considered as the control of the electrical drive in the mathematical model (2) of the electrical drive as the automation object. The different kinds of the electrical drives due to the possible different kinds of the used electrical motors at least. This rotational couple actually moves the necessary parts of the useful system through the transmission of the electric drive, and different kinds of electric drives are due to the different kinds of transmissions also. We can have the electrical drives with the mechanical, electrical, hydraulic, pneumatic transmissions or with the different mixed types including both mechanical and both hydraulic parts for example. Thus, the electrical drive can be the electromechanical system, the electro-hydro-mechanical or other systems in dependence of the inherent design and the kind. At the same time, the electrical and mechanical parts are presented in any kinds of the electrical drives, so that the electrical drive is the electromechanical system at least in any case, and it is principally important for us, because we want to have the general approaches of mathematical modelling suitable for any kinds of the electrical drives. Form one side, the mechanical parts of the electrical drives can be usually represented as the holonomic mechanical systems. From other side, they are well-known the electromechanical analogies allowing to consider the electrical parts of the electric drives similarly to their mechanical parts. Due to these circumstances, we can have the really generalized representations of the mathematical models of the electrical drives by means the Lagrange's equations of 2-nd kind:

$$\frac{d}{dt}\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_k}-\frac{\partial L}{\partial q_k}=-\frac{\partial R}{\partial \dot{q}_k}+Q_k\left(t,q_1,\ldots,q_n,\dot{q}_1,\ldots,\dot{q}_n,u\right), \quad (15)$$

$$q_k(t_0)=q_k^{(0)},\ \dot{q}_k(t_0)=\dot{q}_k^{(0)}, \quad (16)$$

where n is number of freedom degrees, and $k=1,2,\ldots n$; q_k and $\dot{q}_k$ are the generalized coordinated; L is the Lagrange's function (kinetic potential); R is the Raleigh's dissipation function; Q_k are the generalized forces, representing all the forces, which are not potential and are not dissipative; t_0 is the given time moment; $q_k^{(0)}$ and $\dot{q}_k^{(0)}$ are the gives values of the generalized coordinates and velocities at the time moment $t=t_0$.

It is necessary to note that the mathematical model (15), (16) actually represents the processes in the electrical drives as in any electromechanical system, but it not represents the electric drives as the automation objects. To represent the electrical drives exactly as the automation objects it is necessary to use the clear understood circumstance, that the controlled angular velocity $\omega=\omega(t)$ from the relations (1) is defined by the processes in the electrical drive, so we have naturally the following relation:

$$\omega=\omega\left(q_1,\ldots,q_n,\dot{q}_1,\ldots,\dot{q}_n\right), \quad (17)$$

where $\omega\left(q_1,\ldots,q_n,\dot{q}_1,\ldots,\dot{q}_n\right)$ is some given function defining actually the researched electrical drive exactly as the automation object.

Because of both of the generalized coordinates q_k and both of the generalized velocities $\dot{q}_k$ are depended on the time t, so the controlled angular velocity (17) will be depended on the time too, like it was in the relation (1). Thus, the ordinary differential equations (15) with the initial conditions (16) and the relation (17) allow representing in the implicit view the mathematical model (2), (3) of the electrical drive as the automation object. Of course, the relations (15)–(17) cannot give us the values of the parameters n and a_n, a_{n-1}, …, a_0, b_0 of the differential equations (2) in general case. At the same time, it will be possible to have these parameters in the analytical view for some particular cases, but to have them in a general case we can recommend to use the identification procedures based on the results of computer simulations of the processes in the researched electrical drive by means the mathematical model (15)–(17). We will not discuss the identification procedures, because they are the traditionally separate knowledges area. So, the generalized approaches are proposed to represent the mathematical models of the electrical drives as the automation objects on the basis of the electromechanical analogies, of the Lagrange's equations of 2-nd kind, and of the id
entification procedures.

III. Example of application

To illustrate the proposed approaches, we will use the relatively simple ample allowing to exclude the necessity in using the identification procedures, so that we will

have the particular view (2), (3) of the mathematical model of the electrical drive in the direct view. To do it, we will use the simplest schematisation of the processes in the electrical drives as the electromechanical systems.

As it was discussed above, any electrical drive has the electric motor, so the state of the electrical drive must be defined by two generalized coordinates at least:

$$q_1 = \varphi_e,\ q_2 = \int I_e dt\,, \qquad (18)$$

where φ_e is the rotation angle of the rotor of the electric motor; I_e is the electric current in the winding of the rotor of the electric motor.

It is necessary to note, that the generalised coordinate q_1 has the mechanical nature, but the generalized coordinate q_2 is the electric charge, so it has the electrical nature. The different natures of the generalised coordinates is inherent for the electromechanical systems represented by the Lagrange's equations of 2-nd kind. Of course, that in some cases it will be required to use more than one generalised coordinate q_1 to represent the mechanical parts and to use more than one generalized coordinate q_2 to represent the electrical parts of the electrical drives, but it is obviously, that the simplest case is corresponded to the two generalized coordinates (18).

The electromechanical analogies allow us to see the equivalent between the inertia and the inductance through the kinetical energy, between the rigidness and the capacity through the potential energy, between the viscous damping and the resistance through the Raleigh's dissipation function. So, the values required to be substituted to the Lagrange's equations of 2-nd kind for the simplest representation of the electrical drive with the generalized coordinates (18) will have the following view:

$$L = \frac{1}{2}J\dot{q}_1^2 + \frac{1}{2}L_e\dot{q}_2^2,\ R = \frac{1}{2}B\dot{q}_1^2 + \frac{1}{2}R_e\dot{q}_2^2,$$
$$Q_1 = B_e\dot{q}_2,\ Q_2 = -B_e\dot{q}_1 + u, \qquad (19)$$

where J and B are the moment of inertia and the viscous damping parameter of the mechanical parts of the electrical, drive defined relatively the rotation axis of the electric motor rotor; L_e and R_e are the inductance and the resistance of the winding of the rotor of the electrical motor; B_e is the electromechanical characteristic of the electric motor.

Substituting the relations (19) to the Lagrange's equations of 2-nd kind, we will have the following differential equations and the following required initial conditions:

$$J\ddot{q}_1 = -B\dot{q}_1 + B_e\dot{q}_2,\ L_e\ddot{q}_2 = -B_e\dot{q}_1 - R_e\dot{q}_2 + u\,, (20)$$

$$q_1(t_0) = \varphi_e^{(0)}, \dot{q}_1(t_0) = \omega_e^{(0)}, q_2(t_0) = \kappa_e^{(0)}, \dot{q}_2(t_0) = I_e^{(0)}\,, (21)$$

where $\varphi_e^{(0)}$ and $\omega_e^{(0)}$ are the given values of the rotation angle and of the angular velocity of the rotor, but $\kappa_e^{(0)}$ and $I_e^{(0)}$ are the given values of the electric charge and the electric current in the winding of the rotor of the rotor of the electric motor of the electrical drive at the given initial time moment $t = t_0$.

In the form (20), (21) we have the mathematical model representing the processes in the electrical drives under the simplest schematization. To have the mathematical model of the electrical drive as the automated object we must complement the model (20), (21) by the relation (17), which in this simplest case can naturally have the following particular view:

$$\omega = \dot{q}_1\,. \qquad (22)$$

Actually, the set of relations (20)-(22) gives the indirect form of the mathematical model (2), (3) representing the electrical drive as the automation object. Of course, that in the common case only the identification procedure will allow build the differential equation (2), but in the simplest particular case (20)–(22) it is possible to have the particular view of the differential equation (2) in the direct view. To do it, firstly, we will take into account the relation (22) to represent first equation (20) in the following view:

$$J\dot{\omega} = -B\omega + B_e\dot{q}_2 \ \Rightarrow\ \dot{q}_2 = \frac{J}{B_e}\dot{\omega} + \frac{B}{B_e}\omega\,. (23)$$

Using the obtained relation (23), we will exclude further the generalized coordinate q_2 from second differential equation (20), and after the correspondent transformations we will have the final result:

$$\frac{L_e}{B_e}J\ddot{\omega} + \frac{L_eB + R_eJ}{B_e}\dot{\omega} + \left(B_e + \frac{R_e}{B_e}B\right)\omega = u\,. (24)$$

It is obviously, that the differential equation (24) is actually the particular case of the generalized differential equation with the following parameters:

$$n = 2, a_2 = \frac{L_e}{B_e}J, a_1 = \frac{L_eB + R_eJ}{B_e}, a_0 = B_e + \frac{R_e}{B_e}B, b_0 = 1\,. (25)$$

Due to the results (25), we will can have the particular view of the characteristic polynomial (13) required to formulate the stability conditions to find the parameters of the angular velocity PID controller:

$$f(z) = a_2z^3 + (a_1 + k_D)z^2 + (a_0 + k_P)z + k_I\,. (26)$$

Let use the well-known Routh's criteria to formulate the stability conditions for the polynomial (26). In agreement with the Routh's criteria, we must build the following Routh's scheme:

$$\begin{array}{cc} a_2 & a_0 + k_P \\ a_1 + k_D & k_I \\ \dfrac{(a_1 + k_D)(a_0 + k_P) - a_2k_I}{a_1 + k_D} & \end{array} \qquad (27)$$

Because of the physical sense of the parameters (25), we have the inequations:

$$a_2 > 0,\ a_1 + k_D > 0\,. \qquad (28)$$

Taking into account the relations (28) and the Routh's scheme (27), the Routh's criteria will lead to the following condition of the polynomial (26) stability:

$$(a_1 + k_D)(a_0 + k_P) - a_2k_I > 0 \quad (29)$$

The inequality (29) gives us the opportunity to find the values of the parameters for the angular velocity PID controller of the electrical drive for the simplest schematization of the processes. We can see, that due to the inequality (29), we will have the infinite set of the permissible parameters for the angular velocity PID

controller, but we must choose only one values from this set. Thus, we must propose the way to choose the parameters of the angular velocity PID controller from the infinite permissible values set defining by the inequality (29). To propose this way, it is necessary to formulate the additional conditions, which must be satisfied due to choosing the PID controller parameters. It is naturally to formulate these additional conditions to provide some wished properties of the electrical drive as the automated system. As was discussed above, it is naturally to consider as the improved all PID controllers providing some specifical additional properties of the automated systems. It is understandable, that it is actually impossible to imagine all possible additional properties wished for the automated electrical drives and required to find the angular velocity PID controller parameters. At the same time, the natural way to formulate these additional properties can be through the frequency functions of the automated electrical drive, and it is necessary to use the transfer function to do it, as was noted above. In this particular case corresponding to the simplest schematization of the electrical drive, the general view (14) of the transfer function due to the relations (25) will have the particular view:

$$W(s) = \frac{s}{a_2 s^3 + (a_1 + k_D)s^2 + (a_0 + k_P)s + k_I}. \quad (30)$$

They are well-known the approaches allowing to consider the frequency functions for the automated electrical drives with the transfer functions (30), so we will not discuss all it here, because it is not principal from the point of view on the general purpose of this research. In addition to this, it is necessary to note, that the principal results of this research are about the general approaches to build the mathematical models of the electrical drives as the automation objects, as it is required to design the improved angular velocity PID controllers.

IV. Conclusions

This research presents the results noticeable to have further the general approaches to design improved angular velocity PID controllers for the electrical drives. Thus, the presented hire results allow us to formulate the following principal conclusions.

Designment of improved angular velocity PID controllers for the electrical drives are principally based on mathematical modelling of the correspondent electrical drives as the automation objects. This mathematical modelling must provide giving the relation between the supplied electrical voltage of the electric motor and the controlled angular velocity of the researched electrical drive. The ordinary differential equation with the necessary initial conditions is the most suitable view to represent the mathematical model of the electrical drives as the automation objects, because it will give the opportunities to take into account influencing of the angular velocity PID controller, and it will to formulate the condition for this PID controller parameters priding the stability of the angular velocity value. These stability conditions will define actually the infinite set of the values of the parameters of the PID controller providing the stability of the angular velocity value for the electrical drives. To define the parameters of the angular velocity PID controllers, the stability conditions must be complemented by the additional conditions, and the most general ways to formulate these additional conditions are through using the frequency functions of the electrical drive. Actually, due to satisfy not only the stability conditions, but exactly the additional conditions too, the corresponded developed PID controller can be considered as improved.

To have the mathematical model representing the electrical drive as the automation object, it is necessary to understand that the relation between the controlled angular velocity and the supplied electrical voltage actually is the results of the processes in this electrical drive. To have the general understanding about the processes in the electrical drives, it is necessary to consider that, the electrical drives principally include in any case both the mechanical and both the electrical parts. Due to this circumstance, the general way for mathematical modelling of the processes in the electrical drives is in using the electromechanical analogies and the Lagrange's equations of 2-nd kind, because it gives the opportunities to represent the mathematical model for wide class of the electromechanical systems. It is shown, that the mathematical model of the electrical drive as the automation object can be presented in the implicit form through the mathematical model of the processes inherent for the electrical drive as the electromechanical system with the complementary relation defining the controlled angular velocity through the generalized coordinates of the electrical drive as the electromechanical system. The direct form of the mathematical model of the electrical drive as the automation in general case object can be obtained only through the identification procedure on the basis of the results of the computer simulations of the researched electrical drive.

The considered particular example based on the simplest schematization of the processes in the electrical drive shows, that the mathematical model of the electrical drives as the automation objects must be represented by at least third order differential equation, so the more complicated mathematical model will lead to the higher ordered differential equation. The stability condition limiting the parameters of the angular velocity PID controller for the electrical drives under the simplest schematization has the view of one inequality defining the infinite set of the permissible values of these parameters.

The following researches are planned in the direction of considering the different additional conditions providing the wished characteristics of the frequency functions for the automated electrical drives, as well as in the direction of considering of the more complicated schematizations of the automated electrical drives though taking into account the deformations of the mechanical parts.

References

[1] R. Baz, K. El Majdoub, F. Giri, and A. Taouni, "Self-tuning fuzzy PID speed controller for quarter electric vehicle driven by In-wheel BLDC motor and Pacejka's tire model", *IFAC-PapersOnLine*, vol. 55 (is. 12), pp. 598-603, 2022.

[2] V. Rajs, N. Lj. Rašević, M. Z. Bodić, M. M. Zuković, and K. B. Babković, "PID Controller Design for Motor Speed Regulation with Linear and Non-Linear Load", *IFAC-PapersOnLine*, vol. 55 (is. 4), pp. 225-229, 2022.

[3] G. Huang, X. Yuan, K. Shi, and X. Wu, "A BP-PID controller-based multi-model control system for lateral stability of distributed drive electric vehicle", *Journal of the Franklin Institute*, vol. 356 (is. 13), pp. 7290-7311, 2019.

[4] A.G. Mamalis, I. Nevliudov, and Y. Romashov, "An approach for numerical simulating and processing of measured electrical signals from board sensors installed on wheeled electro-mechanical platforms", *Journal of Instrumentation*, vol.16(is. 10), P10006, 2021.

Technical State Estimation for Electromechanical Wheeled Platforms with Parametric Identification Using

Oleksandr Narozhnyi[1], Yurii Romashov[2]

1. CITAR department, Kharkiv National University of Radio Electronics, UKRAINE, Kharkiv, Nauky Ave. 14, email: oleksandr.narozhnyi@nure.ua

2. CITAR department, Kharkiv National University of Radio Electronics, UKRAINE, Kharkiv, Nauky Ave. 14, email: yurii.romashov@nure.ua

Abstract: The approach based on parametric identification to estimate the technical state of electromechanical wheeled platforms is discussed in this research. It is shown, that parametric identification allows having the continuous estimations about the current technical state of an electromechanical wheeled platform during the operation without necessities of the separate especial technical controlling procedures. Implementation of such parametric identification will allow optimizing the time schedule for technical maintenance of electromechanical wheeled platforms.

Keywords: identification, wheeled platform, electric motor.

I. Introduction

Development of the suitable time schedule for technical maintenance is the important for effective exploitation of electromechanical wheeled platforms widely used for different purposes at present [1-3]. It is more suitable to provide the continuous estimation of the technical state for electromechanical wheeled platforms during exploitation, because of the such way gives the fully data required to have the most optimal time schedule for technical maintenance.

One approach providing the continuous estimation of the technical state for the wheeled platforms can be based on improved measuring based on the complicated mathematical models in coupling with the identification procedures, like it was discussed in the research [4] for example. To use mathematical models and identification to have the estimations about the technical state of the electromechanical wheeled platforms requires developing some specifics of identification results transformation to technical state estimations, and this research will be about it. Thus, the purpose of this research is in developing the approaches based on mathematical modelling and identification procedures for technical state estimation of electromechanical wheeled platforms.

II. Generalized theory

We will consider further, that the technical state of an electromechanical wheeled platform can be characterized by the finite set of some numerical parameters. Changes in the technical state of the researched electromechanical wheeled platform during the exploitation can be imagined so that the numerical parameters defining the technical state are the functions of the time. Thus, the technical state of the researched electromechanical wheeled platform can be defined during the exploitation through the set time depended functions:

$$\alpha_k = \alpha_k(t),\ k = 1,2,\ldots,N_\alpha, \quad (1)$$

where α_k and N_α are one of the parameters defining the technical state of the wheeled platform and count of such parameters; t and $\alpha_k(t)$ are the time and the function defining the time dependance of the α_k parameter.

Considering the senses of each the parameters (1), we can define the permissible technical states providing the normal exploitation modes of the researched electromechanical wheeled platform by means the following inequations:

$$\alpha_k^{\min} \le \alpha_k \le \alpha_k^{\max},\ k = 1,2,\ldots,N_\alpha, \quad (2)$$

where $\alpha_k^{\min}$ and $\alpha_k^{\max}$ are the parameter α_k boundary values limiting the permissible technical states providing the normal exploitation modes of the researched electromechanical wheeled platform.

Estimation of the technical state of some electromechanical wheeled platform in the form (1), (2) gives the fully data allow optimizing of the time schedule, the costs and others conditions for the technical maintenance. Thus, estimation of technical state of the wheeled platforms will be directed to be found to have it in the view (1), (2).

It is naturally, that the theoretical estimations (1), (2) of the technical state must be based on the mathematical modelling of the researched electromechanical wheeled platforms. To have the mathematical model of some electromechanical wheeled platform, it is necessary to introduce the control parameters and the state parameters characterizing this researched wheeled platform and to consider all these introduced parameters as the functions of the time:

$$\mathbf{u} = \mathbf{u}(t),\ \mathbf{x} = \mathbf{x}(t), \quad (3)$$

where $\mathbf{u}$ is the vector involving the control parameters, but $\mathbf{x}$ is the vector involving the state parameters of the researched electromechanical wheeled platform.

The mathematical model of the electromechanical wheeled platform characterized be the control and state parameters (3) can be generally represented in the form of the system of the ordinary differential equations with the correspondent initial conditions:

$$\frac{d\mathbf{x}}{dt} = \mathbf{f}\left(t, \mathbf{x}; \mathbf{u}(t); a_1, a_2, \ldots, a_{N_a}\right),\ \mathbf{x}(t_0) = \mathbf{x}_0, \quad (4)$$

where $\mathbf{f}(\ldots)$ is the given function defining the velocities of the state parameters for the researched electromechanical wheeled platform; $a_1, a_2, \ldots, a_{N_a}$ and N_a are the parameters of the mathematical model and the

count of such parameters; t_0 and $\mathbf{x}_0$ ate the time and the state parameters given for the initial time moment.

Mathematical model (4) allows simulating the state of the researched electromechanical wheeled platform for the given control, the given initial values and the given parameters, so that such simulating can be imagined as the following mapping:

$$\mathbf{u}(t); a_1, a_2, \ldots, a_{N_a}; t_0, \mathbf{x}_0 \xrightarrow{\mathbf{f}} \mathbf{x}(t). (5)$$

We have a lot of approaches to realize the mapping (5) to have the imitations of the researched electromechanical wheeled platform, but the most general approaches are based on well-known numerical solving of the initial-value problem (4) by means the different computer technologies with specialized scientific software, like in research [4] for example.

It is understandable, that the mathematical model (4) can give au more that computer simulations (5) only, because it is possible to use this mathematical model (4) to estimate the current technical state of the researched electromechanical wheeled platform. The principal idea of technical state estimation of the electromechanical wheeled platform by using the mathematical model is in dependencies between the mathematical model parameters and the parameters of technical state:

$$a_k = a_k\left(\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_{N_\alpha}\right),\ k = 1, 2, \ldots, N_a, (6)$$

where $a_k\left(\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_{N_\alpha}\right)$ are some known functions.

The view of relations (6) is predefined by the building of the researched electromechanical wheeled platform, by the simplifications leading to the mathematical model (4) as well as by the chose technical state parameters (1). Due to the relations (6) we can see that changing the technical state (1) will lead to changing of the parameters of the mathematical model of the researched electromechanical wheeled platform, so we will have the mathematical model (4) parameters as the functions of the time:

$$a_k = a_k(t),\ k = 1, 2, \ldots, N_a, \quad (7)$$

where $a_k(t)$ is some function defining the time dependence of the a_k parameter due to time changing of the technical state.

Let, we have the information about some control $\mathbf{u}(t)$ and the state $\mathbf{x}(t)$ corresponded to this control under the known values t_0 and $\mathbf{x}_0$ defining the initial conditions of the researched electromechanical wheeled platform. In this case it is possible to consider the parametric identification, which can be imagined as the following mapping:

$$\mathbf{u}(t); \mathbf{x}(t); t_0, \mathbf{x}_0 \xrightarrow{M_{PI}} a_1(t), a_2(t), \ldots, a_{N_a}(t), (8)$$

where M_{PI} is some suitable method for the parametric identification.

It is understandable, that the parametric identification (8) will allow us to have estimations for time changing (7) of the mathematical model parameters. Thus, due to the results of parametric identification (8) and both due to the known relations (6) we will have the representation of the technical state parameters (1) in the following implicit view:

$$a_k(t) = a_k\left(\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_{N_\alpha}\right),\ k = 1, 2, \ldots, N_a. (9)$$

In the case of $N_a = N_\alpha$ the relations (9) can be considered as the system of the equations, so that the technical state parameters (1) will be represented by solving this system of the equations in each time moment. Of course, that in general case the system of the equations (9) will be nonlinear, and to solve it the correspondent suitable numerical methods must be used, but in some cases the system of the equations (9) can be linear also, and in these cases, it will be easier to estimate the technical state parameters (1), because of linear systems solving is the typical task envisaged in modern computer-aided technologies for scientific and engineering purposes. At the same time, in the more general case of $N_a \neq N_\alpha$ it is impossible to consider the relations (9) as the fully defined system of equations to find the technical state parameters (2), because of we will have the different numbers of the unknowns and of the equations to find them. In this general case of $N_a \neq N_\alpha$, we propose to use the least square method [5] to find the technical state parameters (1) from the relations (9). To do it, we propose to introduce the sum squares of the deviations of the relations [5] in the form:

$$S = \sum_{k=1}^{N_a}\left(a_k\left(\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_{N_\alpha}\right) - a_k(t)\right)^2. (10)$$

The squares sum (10) for the given parameters (7) and the relations (6) will be function of the technical state parameters (1) on each time moment:

$$S = S\left(\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_{N_\alpha}; t\right), (11)$$

where $S(\ldots)$ is some given function.

Due to the square sum of the deviations (11) and the least square method [5] we can have the system of the equations to find the technical state parameters (1) in the following view:

$$\frac{\partial S}{\partial \alpha_i} = 0, i = 1, 2, \ldots, N_\alpha. (12)$$

It seems that, the system of the equations (12) must be nonlinear, but we have a lot of possibilities to introduce the technical state parameters (1), and it is suitable to choose such parameters (1) so that, to have the system (12) linear, because it will simplify solving of this system (12). To have the system (12) linear, it is enough to have the relations (6) linear too:

$$a_k = \sum_{j=1}^{N_\alpha} A_{kj}\alpha_j,\ k = 1, 2, \ldots, N_a, (13)$$

where A_{kj} are some given numerical parameters.

Let to substitute relations (13) to the generally defined sum squares of the deviations:

$$S = \sum_{k=1}^{N_a}\left(\sum_{j=1}^{N_\alpha} A_{kj}\alpha_j - a_k(t)\right)^2. \quad (14)$$

The system of equations (12) correspondent to the sum of the deviations squares (14) will have the following view:

$$\sum_{k=1}^{N_a}\left(\sum_{j=1}^{N_\alpha} A_{kj}\alpha_j - a_k(t)\right)A_{ki} = 0,\ i = 1, 2, \ldots, N_\alpha. (15)$$

To transform the linear equations system (15) to the more suitable view, it will be reasonable to introduce the following values:

$$\mathrm{A}_{ij} = \sum_{k=1}^{N_\alpha} A_{ki} A_{kj}, \ \beta_i(t) = \sum_{k=1}^{N_\alpha} A_{ki} a_k(t), \quad (16)$$

where $i, j = 1, 2, \ldots, N_\alpha$.

The introduced values (16) allow representing the linear system (16):

$$\sum_{j=1}^{N_\alpha} \mathrm{A}_{ij} \alpha_j = \beta_i(t), \ i = 1, 2, \ldots, N_\alpha. \quad (17)$$

Due to the linear system (17) we will have the estimations for the technical state parameters (1):

$$\alpha_k(t) = \sum_{j=1}^{N_\alpha} \mathrm{A}_{kj}^{-1} \beta_i(t), \ k = 1, 2, \ldots, N_\alpha, \quad (18)$$

where A_{kj}^{-1} are the elements of the matrix inverse to the matrix with the elements A_{ij}.

Although, it is practically not suitable to find the elements A_{kj}^{-1} of the inverse matrix, because more suitable to use the methods for solving the linear systems like the Gauss method or others similar, but relations (18) are suitable from the theoretical point of view to show directly the estimations of the technical state parameters. Thus, the mathematical model (4), the identification method allowing to have the mapping (8), as well as the relations (16), (18) give us the method for technical state continuous estimating (1) of electromechanical wheeled platform on the basis of the measurements about the actually realized controls and the states corresponded to them during the exploitation.

III. Example of application

It is necessary to note, that building of the suitable mathematical model (4), choosing of the suitable parameters (1) to represent the technical state of the researched wheeled platform, developing of the suitable identification method as well as providing of the required measurements are the complicated problems, which must be considered in mutual connection, but not separately, and this consideration will be unique significantly for each of the particular class of the electromechanical wheeled platforms. The typical application of the proposed approach for the technical state estimating of the electromechanical wheeled platforms will be discussed further on an suitable example.

Let consider firstly the general notes about the principal building of the electromechanical wheeled platforms in connection with the representing their technical state and mathematical modelling. The principal point of view on the electromechanical wheeled platforms is in presence of mutually connected, but made separately mechanical and electrical parts. So, the parameters (1) representing the technical state of the electromechanical wheeled platform must provide estimations of the state both for mechanical and both for electrical parts. As the result, the mathematical model (4) must involve the mathematical models both of mechanical and both of electrical parts, and the connections between these parts. Besides, the mathematical model (4) must be in agreement with the possibilities of instrumental measurements of the state of electromechanical wheeled platforms. Taking into account all these circumstances, it is possible to approve, that the rotation angles of the wheels are the most suitable generalized coordinates to represent the mechanical parts of the researched wheeled platform, including because of it is suitable to provide measurements for the angular velocity. The electric charges in the winding of the drive electric motors rotors are the most suitable generalized coordinates to represent the state of electrical parts of the electromechanical wheeled platforms, including because of it is suitable to provide measurements of the electric currents. The electric voltages supplied to the drive electric motors are the most suitable to represent the control of the electromechanical wheeled platforms, including because of it is suitable to measure the electric voltages. Thus, to represent the control and the corresponded state of the electromechanical wheeled platform under the simple schematization we must use at least the following control and state vector:

$$\mathbf{u}(t) = u(t), \ u(t) = U_e(t), \quad (19)$$

$$\mathbf{x}(t) = \begin{pmatrix} x_1(t) & x_2(t) \end{pmatrix}^T, \ x_1(t) = \omega(t), \ x_2(t) = I(t), \quad (20)$$

where $U_e(t)$ is the electric voltage supplied to the drive electric motors; $\omega(t)$ is the angular velocity of the wheels of the researched platform, and $I(t)$ is the electric current in the rotor winding of the drive electric motors.

The mathematical model corresponding to the simplest schematization of the electromechanical wheeled platform with the control (19) and with the state parameters (20) can be built by means the electromechanical analogies and the Lagrange's equations of 2-nd kind and can be represented in the particular view:

$$\begin{cases} \dfrac{dx_1}{dt} = \dfrac{B_e}{J} x_2 - \dfrac{b}{J} x_1^2 - \dfrac{mg\delta}{J}, \\ \dfrac{dx_2}{dt} = -\dfrac{R_e}{L_e} x_2 - \dfrac{B_e}{L_e} x_1 + \dfrac{u(t)}{L_e}, \end{cases} \quad (20)$$

$$x_1(t_0) = \omega_0, \ x_2(t_0) = I_0, \quad (21)$$

where J is the moment of inertia of the electromechanical wheeled platform relatively the rotation axis of the wheel; b is the generalized parameter defining the viscous friction of the electromechanical wheeled platform relatively it rotation axis of the wheel; mg is the total weight value of the electromechanical wheeled platform; δ is the rolling friction coefficient of the wheels; B_e is the electromechanical parameter, but R_e and L_e are the resistance and the inductance of the rotors winding of the drive electric motors; ω_0 and I_0 are the given values of the wheels angular velocity and of the electric current in the winding of the rotor of the drive electric motors art the initial time moment $t = t_0$.

To represent the mathematical model (20) in the view (4), let to introduce the following parameters:

$$a_1 = \frac{B_e}{J}, a_2 = \frac{b}{J}, a_3 = \frac{mg\delta}{J}, a_4 = \frac{R_e}{L_e}, a_5 = \frac{B_e}{L_e}, a_6 = \frac{1}{L_e}. \quad (22$$

The relations (22) correspond to the case of the differential equations (4) with the $N_a = 6$ value. Due to the introduced parameters (22), the differential equations (2) will have the view like in the general representation (4):

$$\frac{dx_1}{dt} = a_1 x_2 - a_2 \frac{b}{J} x_1^2 - a_3, \frac{dx_2}{dt} = -a_4 x_2 - a_5 x_1 + a_6 u(t). \quad (23$$

Thus, in the view (23) we have the simp-lest example of the generalized model (4). Of course, it is possible to have others more complicated than (23) mathematical models allow representing the electromechanical wheeled platforms.

From the differential equations (20), we can see that the technical state of the mechanical parts of the researched electromechanical wheeled platforms is defined by the values of the generalized moment of inertia J, of the generalized parameter b defining the viscous frictions, of the total weight mg as well as of the rolling friction coefficient δ. At the same time, the total weight of the electromechanical wheeled platform can be defined easy by means the simple measurements of the spring's strains for example. Besides, the generalized inertia moment has changes due to changing the total weight, but not the technical state, so we can estimate the generalized inertia moment through the total weight. Thus, we have the principal parameters b and δ representing the technical state of the researched wheeled platforms in agreement with the mathematical model (20), (21). From the differential equations (20), we can see also that the technical state of the electrical parts of the researched electromechanical wheeled platforms is defined by the values of the electromechanical parameter B_e, and of the resistance and the inductance R_e and L_e of the rotors winding of the drive electric motors. At the same time, the resistance of the rotor winding can be measured easy, so the principal parameters B_e and L_e representing the technical state of the researched wheeled platforms in agreement with the mathematical model (20), (21). Thus, for the researched electromechanical wheeled platform represented by the mathematical model (20), (21) it is reasonable to define the parameters (1) of the technical state in the particular view:

$$\alpha_1 = b,\ \alpha_2 = \delta,\ \alpha_3 = B_e,\ \alpha_4 = 1/L_e. \quad (24)$$

The parameters (24) correspond to the particular case of the parameters (1) with the $N_\alpha = 6$ value. By comparing the relations (22) and the relations (24), we can write the following:

$$a_1 = \frac{\alpha_3}{J},\ a_2 = \frac{\alpha_1}{J},\ a_3 = \frac{mg}{J}\alpha_2,$$
$$a_4 = R_e\alpha_4,\ a_5 = \alpha_3\alpha_4,\ a_6 = \alpha_4. \quad (25)$$

The relations (25) are actually the particular case of the general relations (6). We can see, that not all the relations (25) are linear like the general linear relations (13). At the same time, it is not necessary to use all the relations (25) to have the estimations about the technical state for the electromechanical wheeled platform represented by the simplest mathematical model (20), (21), because of the inequation $N_\alpha < N_a$. Really, it is obviously, that it is not necessary to use the nonlinear relation from (25), because of it is sufficient to use only first three relations (25) with fourth of sixth relation from (25). Thus, the considered example allows to show that the based on the identification proposed generalized approaches for estimation of the technical state of the electromechanical wheeled platforms can be principally used, so that it will be possible to provide continuous estimations of the technical state during the exploitation of the electromechanical wheeled platforms. Of course, that to realize this proposed approach it will be necessary to choose or to develop the suitable identification method to have the mapping (8).

IV. Conclusions

This research presents the noticeable results about developing the approaches based on mathematical modelling and identification procedures for technical state estimation of electromechanical wheeled platforms, so that we can formulate some really principal statements.

Firstly, the mathematical modelling with the identification procedures really give us the effective way to have estimations about the technical state of the electrotechnical wheeled platforms, and these estimations can be continuously during the exploitation. Secondly, the possibilities of the technical state estimations of the electromechanical wheeled platforms are predefined by the simplifications used to formulate their mathematical models. Thirdly, it is wished to have the linear relations between parameters of the mathematical model and the parameters defining the technical state of the researched electromechanical wheeled platform to exclude difficulties in the identification procedure by the least square method. Fourthly, it is necessary to develop the identification procedure for mathematical models of the electromechanical wheeled platforms, which is recommended for the further researches.

References

[1] D. Bozhdaraj, D. Lucke, and J.L. Jooste, "Smart Maintenance Architecture for Automated Guided Vehicles", *Procedia CIRP*, vol. 118, pp. 110-115, 2023.

[2] M. Grosso, I.C. Raileanu, J. Krause, M.A. Raposo, A. Duboz, A. Garus, A. Mourtzouchou, and B. Ciuffo, "How will vehicle automation and electrification affect the automotive maintenance, repair sector?", *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, vol. 12, 100495, 2021.

[3] M. Vierhauser, A. Garmendia, M. Stadler, M. Wimmer, and J. Cleland-Huang, "GRuM – A flexible model-driven runtime monitoring framework and its application to automated aerial and ground vehicles", *Journal of Systems and Software*, vol. 203, 111733, 2023.

[4] A.G. Mamalis, I. Nevliudov, and Y. Romashov, "An approach for numerical simulating and processing of measured electrical signals from board sensors installed on wheeled electro-mechanical platforms",

Journal of Instrumentation, vol.16(is. 10), P10006, 2021.
[5] J.D. Hoffman, *Numerical Methods for Engineers and Scientists*, New York: Marcel Dekker, 2001, 823 p.

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

Наталія Демська[1], Юрій Ромашов[2], Артем Шевченко[3]
1. CITAR department, Kharkiv National University of Radio Electronics, UKRAINE, Kharkiv, Nauky Ave. 14, email: natalia.demska@nure.ua
2. CITAR department, Kharkiv National University of Radio Electronics, UKRAINE, Kharkiv, Nauky Ave. 14, email: yurii.romashov@nure.ua
3. CITAR department, Kharkiv National University of Radio Electronics, UKRAINE, Kharkiv, Nauky Ave. 14, email: artem.shevchenko@nure.ua

Анотація: Розроблено низку підходів щодо використання комп'ютерних технологій для імітаційного моделювання електроприводу промислового призначення. Запропоновані підходи засновані на використанні програмних засобів комп'ютерної графіки, а також на математичному та комп'ютерному моделюванні процесів, що відбуваються в промисловому електроприводі, за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення для наукових та інженерних розрахунків. Показано приклад використання запропонованих підходів для імітаційного моделювання процесів в промисловому електроприводі із двоступінчастим механічним редуктором.

Ключові слова: електропривод, процеси, моделювання.

I. Вступ

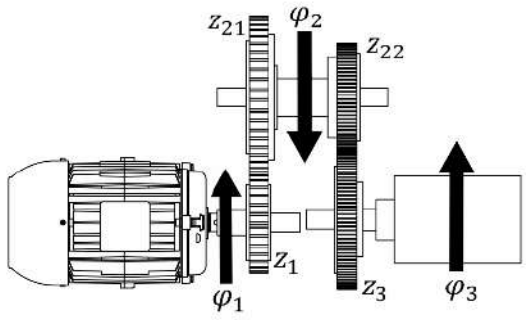
Електропривод насправді є досить розповсюдженим елементом технічних систем промислового призначення. Намагання зменшувати витрати на виконання науково-дослідних та конструкторських робіт та на підготовку персоналу промислових підприємств сприяє широкому впровадженню імітаційного моделювання технічних систем та електроприводу у тому числі. Завдяки імітаційному моделюванню насправді маємо можливість прогнозувати стан електроприводу в різних умовах експлуатації, у тому числі на аварійних режимах. З урахуванням означених обставин маємо сьогодні, що імітаційне моделювання насправді досить широко використовується при розв'язуванні наукових та інженерних питань щодо електроприводу, як наприклад, в роботах [1-3], та в роботі [4]. Зрозуміло, що використання комп'ютерних технологій значно розширює можливості імітаційного моделювання, тому розробка підходів щодо використання таких технологій є актуальною науковою проблемою, що спрямована на удосконалення підтримки процесів проектування та експлуатації електроприводу. Метою даного дослідження є розробка підходів щодо ефективного використання існуючих комп'ютерних технологій у вигляді програмних засобів комп'ютерної графіки, а також програмних засобів для наукових та інженерних розрахунків щодо імітаційного моделювання промислового електроприводу. Для цього будуть розглянуті ключові типові завдання імітаційного моделювання промислового електропривода щодо розв'язування інженерних питань, а також використання відповідних спеціалізованих програмних засобів. Достатньо багато уваги також буде приділено математичному моделюванню процесів в промисловому електроприводі, оскільки саме на цьому ґрунтується використання деяких комп'ютерних технологій.

II. Теоретичні основи

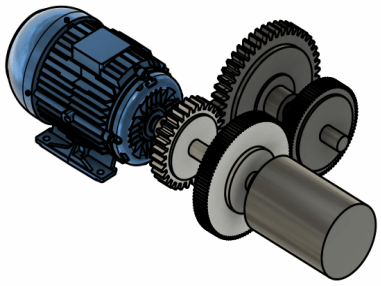
Ключовими проблемами імітаційного моделювання промислового електроприводу є його відображення з належною деталізацією для проектування та наочного уявлення, а також прогнозування його стану протягом експлуатації для підтвердження технічних характеристик та ілюстрації принципу роботи.

Для відображення промислового електроприводу з необхідною деталізацією щодо розв'язування інженерних завдань можна рекомендувати застосовувати системи комп'ютерної графіки інженерного призначення, такі як, наприклад, універсальне програмне забезпечення Autodesk Fusion 360. Таке програмне забезпечення дозволяє не тільки створювати суто конструкторську документацію у вигляді плоских креслень, але також інші схематичні зображення, та, навіть, надавати досить точний зовнішній вигляд промислового електроприводу. Так, наприклад, на рис. 1 показано одночасно схематичне зображення з відповідного боку, а також досить точно відтворений зовнішній вигляд ключових компонентів промислового електроприводу, а саме: електричного двигуна, а також зубчастих коліс та валів двоступінчастого механічного редуктору. Отже, наочно показано, що сучасні технології комп'ютерної графіки інженерного призначення дозволяють досить точно відтворювати зовнішній вигляд промислового електроприводу із потрібною деталізацією, а також надають можливість автоматично будувати необхідні конструкторські документи, наприклад плоскі креслення та схематичні зображення. При відтворенні зовнішнього вигляду забезпечується можливість інтерактивної зміни кута погляду, що імітує результати огляду працівником промислового електроприводу, а також його окремих деталей. З урахуванням означених обставин можемо стверджувати, що сучасні технології комп'ютерної графіки, такі як, наприклад,

універсальне програмне забезпечення Autodesk Fusion 360, забезпечують досить реалістичну імітацію огляду працівниками як окремих складових, так і промислового електроприводу в цілому, що є корисним як на етапі проектування, так і в процесі підготовки промислового персоналу.



а)



б)

Рис.1. Схематичне зображення (а) та загальний вигляд (б) ключових деталей промислового електроприводу

Значно складнішою є проблема щодо імітаційного моделювання процесів, що відбуваються протягом експлуатації на різних режимах в промисловому електроприводі, оскільки це вимагає використання та іноді розробки математичних моделей. Це обумовлено тією обставиною, що математичні моделі є насправді досить складними об'єктами, використання яких вимагає досить розвиненої математичної культури та володіння знаннями відповідних предметних галузей. Наприклад, математичне моделювання процесів в промисловому електроприводі, що схематично показаний на рис. 1, ґрунтується фундаментальному результаті аналітичної механіки, а саме на рівняннях Лагранжа 2-го роду, що, як відомо, мають такий вигляд:

$$\frac{d}{dt}\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_k}-\frac{\partial L}{\partial q_k}=-\frac{\partial R}{\partial \dot{q}_k}-\frac{\partial H}{\partial \dot{q}_k}+Q_k,\quad k=1,2,\ldots n\ ,(1)$$

де n – кількість узагальнених координат системи; q_k та $\dot{q}_k$, $k=1,2,\ldots n$ – узагальнені координати та узагальнені швидкості системи; L – функція Лагранжа (кінетичний потенціал), що представляє різницю між кінетичною та потенційною енергією системи; R та H – потенціали дисипативних та гіроскопічних сил системи, а також Q_k, $k=1,2,\ldots n$ – узагальнені сили системи, що не є потенційними, дисипативним та гіроскопічними.

Зрозуміло, що диференціальні рівняння (1) насправді слід розглядати з урахуванням початкових умов:

$$q_k\left(t_0\right)=q_k^{(0)},\ \dot{q}_k\left(t_0\right)=\dot{q}_k^{(0)},\quad k=1,2,\ldots n\ ,(2)$$

де t_0 – заданий момент часу; $q_k^{(0)}$ та $\dot{q}_k^{(0)}$, $k=1,2,\ldots n$ – задані значення узагальнених координат та узагальнених швидкостей в момент часу $t=t_0$.

Слід враховувати, що промисловий електропривод містить насправді не тільки механічні, а також електричні (електротехнічні) та електронні компоненти, отже є електромеханічною системою. Важливою властивістю рівнянь (1) є те, що разом із електромеханічними аналогіями (табл. 1 та табл. 2) вони представляють узагальнену форму запису диференціальних рівнянь математичних моделей електромеханічних систем. Зрозуміло, що використання рівнянь Лагранжа 2-го роду (1) для математичного моделювання процесів, які протягом експлуатації відбуваються в промисловому електроприводі, потребує насправді високої кваліфікації, оскільки воно передбачає визначення досить складних характеристик механічних та електричних систем: кінетичної та потенційної енергії, дисипативних та гіроскопічних потенціалів, що є більш складним, ніж у простішому випадку як в табл. 2.

Таблиця 1. Аналогія між механічними та електричними величинами

Механічна величина та її позначення	Електрична величина та її позначення
Координата, x	Заряд, к
Швидкість, v	Струм, I
Сила, F	Напруження, U
В'язкість, b	Активний опір, R
Жорсткість, c	Зворотна ємність, $1/C$
Маса, m	Індуктивність, L

Таблиця 2. Відповідність між характеристиками механічних та електричних систем

Характеристика	Визначення для системи	
	механічної	електричної
Кінетична енергія	$\frac{1}{2}mv^2$	$\frac{1}{2}LI^2$
Потенційна енергія	$\frac{1}{2}cx^2$	$\frac{1}{2}\frac{1}{C}q^2$
Дисипативний потенціал	$\frac{1}{2}bv^2$	$\frac{1}{2}RI^2$
Робота сили	Fx	Uq

Імітаційне моделювання процесів, що відбуваються в промисловому електроприводі протягом експлуатації, насправді зводиться до розв'язування диференціальних рівнянь (1) з урахуванням відповідних початкових умов (2) побудованої математичної моделі. Зрозуміло, що у загальному випадку розв'язування таких рівнянь може бути реалізовано лише за допомогою обчислювальних методів, що значно спрощується за умов використання відповідних комп'ютерних технологій

(програм). Сучасні комп'ютерні технології у вигляді різних спеціалізованих програмних засобів для виконання наукових та інженерних розрахунків, наприклад Scilab, забезпечують значною мірою автоматизоване розв'язування систем звичайних диференціальних рівнянь з початковими умовами, що значно спрощує імітаційне моделювання процесів в промисловому електроприводі. В той же час, слід підкреслити, що використання комп'ютерних технологій не звільняє від побудови диференціальних рівнянь та початкових умов математичної моделі, що є насправді одним із найбільш складних серед усіх етапів імітаційного моделювання процесів в промисловому електроприводі. Сучасні комп'ютерні системи для виконання наукових та інженерних розрахунків є досить розвиненими і дозволяють в деяких випадках звільняти користувача від власноручної побудови диференціальних рівнянь математичної моделі, але для цього потрібно вивчення досить складних спеціалізованих компонентів таких систем та не звільняю по суті від необхідності розуміння фундаментальних понять диференціальних рівнянь і обчислювальних методів їхнього розв'язування. В той же час, використання автоматично побудованих комп'ютерними системами математичних моделей для складних систем не завжди приводить до надійних результатів через перевантаження комп'ютеру побудовою диференціальних рівнянь. Зрозуміло, що більш надійні результати будуть отримуватися коли комп'ютер лише розв'язує вже побудовані диференціальні рівняння із початковими умовами. Отже використання комп'ютерних технологій для імітаційного моделювання процесів в промисловому електроприводі вимагає досить високої кваліфікації.

Для ілюстрації використання комп'ютерних технологій розглянемо моделювання процесів в промисловому електроприводі, що показаний вище на рис. 1.

Стан механічної частини електроприводу (див. рис. 1а) визначається кутами повороту φ_1 ротору електричного двигуна, φ_2 проміжного валу редуктора та φ_3 рушійного валу робочої частини, яку власне зрушує електропривод (див. рис. 1а). Зрозуміло, що ці кути зв'язані так:

$$z_1\varphi_1 = z_{21}\varphi_2,\ z_{22}\varphi_2 = z_3\varphi_3, \quad (3)$$

де z_1, z_{21} z_{22} z_3 кількості зубів відповідних зубчастих коліс (див. рис. 1а)

Завдяки притаманним зв'язкам (3) маємо можливість охарактеризувати стан механічної частини (див. рис. 1а) досліджуваного електроприводу однією узагальненою координатою

$$q_1 = \varphi_1. \quad (4)$$

Вважаємо, що в досліджуваному електроприводі (див. рис. 1) використовується електричний двигун постійного струму, який схематизуватимемо, як показано на рис. 2. Узагальненою координатою, яка визначатиме в такому випадку стан електричної частини електроприводу буде електричний заряд, відповідний струму в обмотуванні ротору (рис. 2):

$$q_2 = \text{к},\ \text{к} = \int I(t)\,dt, \quad (5)$$

де к та I – електричний заряд та відповідний йому струм обмотування ротору.

Необхідні для рівнянь Лагранжа 2-го роду (1) величини відповідно прийнятій схематизації механічної та електричної частини електроприводу матимуть вигляд:

$$L = \frac{1}{2}J\dot{q}_1^2 + \frac{1}{2}L_e\dot{q}_2^2,\ R = \frac{1}{2}b\dot{q}_1^2 + \frac{1}{2}R_e\dot{q}_2^2,\ H = 0,$$
$$Q_1 = B_e\dot{q}_2,\ Q_2 = U_e - B_e\dot{q}_1, \quad (6)$$

де J – момент інерції електроприводу відносно осі обертання ротору його електричного двигуна; L_e – індуктивність обмотування ротору електричного двигуна; b – узагальнений параметр в'язкості електроприводу, визначений відносно осі обертання ротору електричного двигуна; R_e – опір обмотування ротору електричного двигуна; B_e – електромеханічний параметр електричного двигуна; U_e – напруга живлення електричного двигуна.

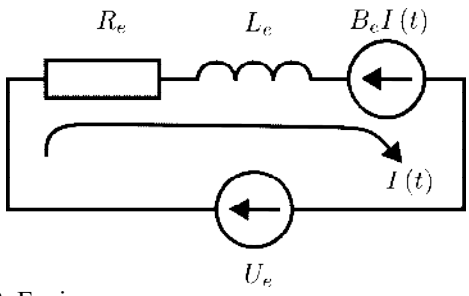


Рис. 2. Еквівалентна електрична схема електричного двигуна постійного струму

Зрозуміло, що визначені відносно осі обертання електричного двигуна момент інерції J та узагальнений параметр b в'язкості визначаються конструкцією електроприводу у залежності від ступеня деталізації його схематизації, що використовується при побудові його математичної моделі. Означені величини можуть визначатися, наприклад, таким чином:

$$J = J_1 + J_2\left(\frac{z_1}{z_{21}}\right)^2 + J_3\left(\frac{z_1}{z_{21}}\frac{z_{22}}{z_3}\right)^2,\ b = b_3\left(\frac{z_1}{z_{21}}\frac{z_{22}}{z_3}\right)^2, \quad (7)$$

де J_1, J_2 та J_3 – моменти інерції ротору електричного двигуна із відповідним зубчастим колесом, проміжного валу редуктора, та робочої частини, яку приводить до руху електропривод; b_3 – параметр в'язкого опору робочої частини, яку приводить до руху електропривод.

Зазначимо, що вирази (7) наочно показують ступінь деталізації математичної моделі електроприводу. Отже, з урахуванням виразів (6) рівняння Лагранжа 2-го роду у формі (1) набудуть такого вигляду:

$$J\ddot{q}_1 = -b\dot{q}_1 + B_e\dot{q}_2,\quad L_e\ddot{q}_2 = -B_e\dot{q}_1 - R_e\dot{q}_2 + U_e. \quad (8)$$

Диференціальні рівняння (8) фактично представляють одну із можливих математичних моделей, яка може бути запропонованою для імітаційного моделювання процесів в промисловому

електроприводі, що показаний вище на рис. 1. Зрозуміло, що використання комп'ютерних технологій для імітаційного моделювання промислового електроприводу з використанням математичної моделі на основі диференціальних рівнянь (8) потребуватиме у подальшому відповідного перетворення цих рівнянь до вигляду, узгодженого із тим, що передбачається у використовуваних комп'ютерних системах. Таким досить універсальним виглядом, що зазвичай використовується у різноманітних комп'ютерних системах для виконання наукових та інженерних розрахунків, є, зазвичай, система звичайних диференціальних рівнянь першого порядку із відповідними початковими умовами.

III. Приклад моделювання процесів

В якості прикладу для ілюстрації типових прийомів використання комп'ютерних технологій розглянемо далі моделювання процесів в промисловому електроприводі, що показаний вище на рис.1 та має математичну модель із диференціальними рівняннями (8). Для комп'ютерного моделювання процесів використовуватимемо систему Scilab із графічним середовищем моделювання Xcos.

Спочатку слід представити диференціальні рівняння (8) другого порядку математичної моделі у формі системи диференціальних рівнянь першого порядку, що необхідно при використанні більшості комп'ютерних систем для виконання наукових та інженерних розрахунків. Для цього введемо нові змінні:

$$x_1 = q_1,\ x_2 = \dot{q}_1,\ x_3 = \dot{q}_2. \qquad (9)$$

Завдяки веденим новим змінним (9) можемо представити диференціальні рівняння (8) у такому вигляді:

$$\dot{x}_1 = x_2,\ \dot{x}_2 = -\frac{b}{J}x_2 + \frac{B_e}{J}x_3,\ \dot{x}_3 = -\frac{B_e}{L_e}x_2 - \frac{R_e}{L_e}x_3 + \frac{U_e}{L_e}. \qquad (10)$$

Диференціальні рівняння (10) розглянемо із початковими умовами, які відповідають нерухомому електроприводу в початковий момент часу:

$$t_0 = 0,\ x_1(0) = 0,\ x_2(0) = 0,\ x_3(0) = 0. \qquad (11)$$

Таким чином, для комп'ютерного моделювання процесів в електроприводі маємо представлену у зручному вигляді (10), (11) математичну модель.

У подальшому буде зручно враховувати лінійність диференціальних рівнянь (10), оскільки в графічному середовищі моделювання Xcos системи Scilab для моделювання лінійних систем передбачений спеціальний блок, який забезпечує розв'язування системи лінійних диференціальних рівнянь із додатковою умовою, що були записані у вектор-матричній формі:

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{u},\ \mathbf{y} = \mathbf{C}\mathbf{x} + \mathbf{D}\mathbf{u}, \qquad (12)$$

де $\mathbf{x}$ та $\mathbf{u}$ – шуканий та заданий вектори; $\mathbf{A}$ та $\mathbf{B}$ – матриці, що визначають диференціальні рівняння; $\mathbf{C}$ та $\mathbf{D}$ – матриці, що визначають додаткові умови.

В розглядуваному випадку диференціальних рівнянь (10) можемо мати таке:

$$\mathbf{x} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix},\ \mathbf{y} = \begin{pmatrix} x_2 \\ x_3 \end{pmatrix},\ \mathbf{C} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},\ \mathbf{D} = (0), \qquad (13)$$

$$\mathbf{u} = (U_e),\ \mathbf{A} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & -b/J & B_e/J \\ 0 & -B_e/L_e & -R_e/L_e \end{pmatrix},\ \mathbf{B} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1/L_e \end{pmatrix}. \qquad (14)$$

З урахуванням отриманих у вигляді (13), (14) результатів можемо запропонувати комп'ютерну модель процесів, що відбуваються в електроприводі, яка побудована засобами графічного середовища моделювання Xcos системи Scilab як показано на рис. 3. Така модель (рис. 3) дозволяє моделювати стан початково нерухомого електроприводу після миттєвої подачі на електричний двигун заданої сталої напруги живлення. Для механічної та електричної частин досліджуваного електроприводу приймемо такі вихідні данні:

$$J_1 = 4\ \text{г}\cdot\text{м}^2,\ J_2 = 5\ \text{г}\cdot\text{м}^2,\ J_3 = 500\ \text{г}\cdot\text{м}^2,$$
$$z_1 = 20,\ z_{21} = 30,\ z_{22} = 20,\ z_3 = 40,$$
$$b_3 = 0{,}2\ \text{Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}. \qquad (15)$$

$$J_e = 1\ \text{г}\cdot\text{м}^2,\ R_e = 1{,}6\ \text{Ом},\ L_e = 400\ \text{мкГн},$$
$$\tau_e = 6{,}5\ \text{мс},\ B_e = \sqrt{\frac{R_e J_e}{\tau_e}}. \qquad (16)$$

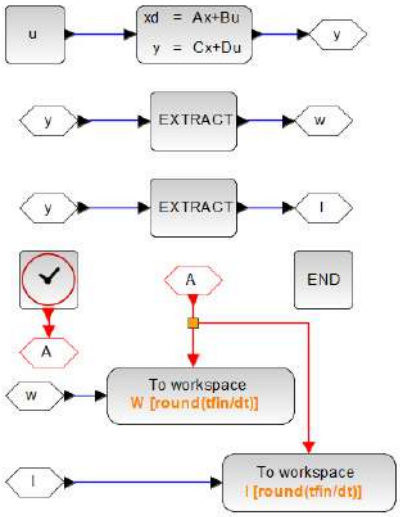


Рис. 3. Комп'ютерна модель процесів, що відбуваються в досліджуваному електроприводі

Результати імітаційного моделювання режиму запуску електроприводу, що були одержані із використанням розробленої комп'ютерної моделі (рис. 3), показані на рис. 4. Одержані результати (рис. 4) наочно свідчать, що після миттєвої подачі електричної напруги живлення на рушійний електричний двигун постійного струму нерухомого електроприводу відбувається досить велике, практично стрибкоподібне, збільшення струму ротору в початковий момент часу. Таке стрибкоподібне збільшення струму ротору у початковий момент часу можна пояснити як мінімум миттєвою подачею сталої напруги живлення на електричний двигун постійного струму. Бачимо

також (рис. 4), що після миттєвої подачі напруги живлення на електричний двигун електроприводу, що перебуває в нерухомому стані, протягом певного часу відбувається перехідний процес, в якому кутова швидкість ротору поступово збільшується, а струми ротору зменшується до деякий усталених значень, які відповідні поданій напрузі живлення. Можемо зробити висновок (рис. 4) про те, що величина миттєво поданої напруги живлення майже на впливає на тривалість часу перехідного процесу при запуску електропривода із нерухомого стану. В той же час, величина стрибка струму ротору у початковий момент часу, а також його усталене значення, та усталене значення кутової швидкості ротору визначаються саме поданою електричною напругою живлення електричного двигуна електроприводу, про що саме свідчать отримані результати (рис. 4). Досить неприємною обставиною є те, що величина стрибка струму в початковий момент часу значно перевищує його усталене значення, а це свідчить про прискорені накопичення пошкоджень в обмотуванні ротору електричного двигуна електроприводу в процесі його запуску із нерухомого стану. За цих умов здається необхідними заходи щодо зменшення стрибка струму в обмотуванні ротору електричного двигуна при запусках електроприводу. Можливими шляхами щодо реалізації такого обмеження може бути поступове збільшення напруги живлення, що подається на електричний двигун для запуску електроприводу, а також зміна параметрів конструкції електроприводу за рахунок підбору більш підходящого електричного двигуна та (або) механічного редуктору. Отже, підбір параметрів електричного двигуна та механічного редуктора електроприводу взагалі слід здійснювати узгоджено, що потребує досить ретельного вивчення процесів в електроприводі з використанням досить складних математичних моделей.

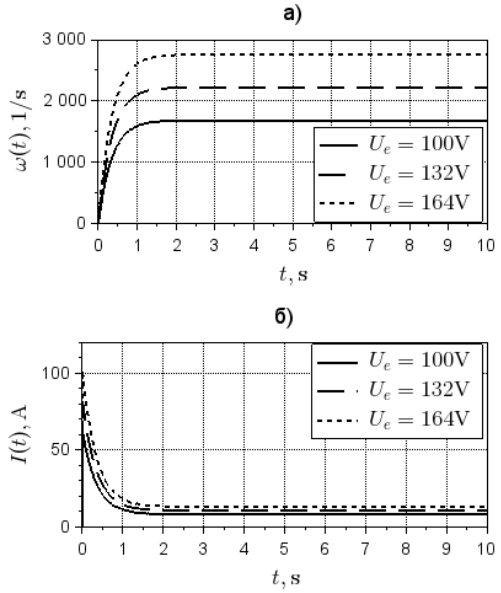


Рис. 4. Результати комп'ютерного моделювання кутової швидкості (а) та струму ротору електричного двигуна (б) на перехідному режимі запуска електропривода

Слід також звернути увагу на ту обставину, що стрибки струму ротору електричного двигуна постійного струму в початковий момент часу при запусках електроприводу (рис. 4а), зрозуміло, призводять до підвищення витрат електроенергії. За цих умов належне проектування та забезпечення експлуатації промислових електроприводів може сприяти зменшенню витрат електроенергії шляхом оптимізації перехідних процесів, ку тому числі запуску із нерухомого стану, який може відбуватися декілька разів за добу. Зменшення витрат електроенергії промисловими споживачами є досить важливим з точки зору підвищення ефективності виробництв. Наприклад, зменшення витрат електроенергії на власні потреби дозволить певним чином зменшити собівартість вироблення та підвищити обсяги постачання електроенергії, у тому числі й атомними електростанціями. Зменшення власних витрат електроенергії споживачами також важливе з точки зору обмеження викидів вуглецю, що є однією із пріоритетних задач перспективного розвитку Європейської Спільноти у відповідності із прийнятою політикою протидії швидким та небезпечним кліматичним змінам.

IV. Висновки

Виконання даного дослідження дозволило одержати вагомі результати щодо розробки підходів використання комп'ютерних технологій для імітаційного моделювання промислового електроприводу. Можна зробити висновок, що сучасні технології комп'ютерної графіки надають можливостей широкої автоматизації щодо створення конструкторської документації та дозволяють при цьому досить точно відтворювати зовнішній вигляд окремих деталей та промислового електроприводу в цілому, що є вкрай важливим як на етапі проектування, так і для забезпечення експлуатації, наприклад при навчанні промислового персоналу. Також можна зробити висновок, що найбільш складним насправді є імітаційне моделювання процесів в електроприводі, оскільки таке моделювання принципово передбачає використання математичних моделей в тому чи іншому вигляді. Розглянутий приклад наочно показує, що імітаційне моделювання процесів з використанням комп'ютерних технологій дозволяє насправді розв'язувати досить складні інженерні питання щодо удосконалення промислового електроприводу, у тому числі для зменшення власних витрат електроенергії протягом експлуатації, що є надважливим для підвищення ефективності виробництв в умовах обмежень вуглецевих викидів до навколишнього середовища.

Перелік посилань

[1] H. Rui, Z. Junzhi, and L. Cheng, "New Approach of Comprehensive Shift Schedule Based on Electric Drive Automated Mechanical Transmission", *Energy Procedia*, vol. 88, pp. 945-949, 2016.

[2] Ha Quang Thinh Ngo, "Design of automated system for online inspection using the convolutional neural network (CNN) technique in the image processing

approach", *Results in Engineering*, vol. 19, 101346, 2023.

[3] J. Fleischer, L. Hausmann, and F. Wirth, "Production-oriented design of electric traction drives with hairpin winding", Procedia CIRP, vol. 100, pp. 169-174, 2021.

[4] S. Alyokhina, I. Nevliudov, and Yu. Romashov, "Safe Transportation of Nuclear Fuel Assemblies by Means of Wheeled Robotic Platforms", *Ядерна та радіаційна безпека*, т. 3(91), с. 43-50, 2021.

Автоматичний пристрій для збору вторинної тари з алюмінію та поліетилентерефталату

І. В. Жарікова
Кафедра КІТАР, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА,
Харків, пр. Науки, 14, email: iryna.zharikova@nure.ua

Анотація: У роботі розглянуто автоматичний пристрій для прийому тари з поліетилентерефталату та алюмінію, який призначений для автоматизації збирання вторинної сировини
у громадських місцях і закладах освіти та покликаний вирішити питання поводження з відходами в містах України. Наведено відомі пристрої аналогічного прихначення. Описано принцип дії та конструкцію автомату, які відповідають вимогам до реалізації концепції розумних міст.

Ключові слова: фандомат, екологія, автоматичний пристрій, вторинна сировина, переробка пластику.

І. Вступ

Питанням розробки засобів автоматизації різних галузей виробництва та діяльності суспільства, які б забезпечували суттєву економію різних видів ресурсів, присвячено багато досліжень і наукових робіт [1-6]. В усьому світі постійно розробляються нові методи енергозбереження, альтернативні джерела живлення, мікроелектромеханічні системи, а також інтелектуальні системи, які спрямовані на захист екологічного середовища нашої планети на противагу збільшенню обсягів промисловості та відповідно – рівня забрудненості довкілля.

Автоматичний пристрій для прийому тари з поліетилентерефталату (ПЕТ) та алюмінію призначений для збирання ПЕТ та алюмінію для повторного застосування – як сировини на виробництвах. При цьому його актуальність полягає також у можливості реалізації екологічного завдання з мінімізації забруднення навколишнього середовища шкідливими речовинами

Подібні автомати в усьому світі відомі як «фандомати» [7-10]. Вони отримали широке застосування у Європі, зокрема у Німеччині, там він є в кожному супермаркеті. Фандомат за своєю будовою суттєво не відрізняється від звичайних автоматів з видачі їжі, напоїв, тощо. Але автоматичний пристрій для збирання тари з ПЕТ, маючи лише пару двигунів постійного струму, сканер штрих-кодів і дисплей, на якому користувачі мають змогу побачити їх винагороду за той чи інший продукт, що здається на переробку, виконує наступні функції:

– очищення середовища від викидання сміття;

– застосування ПЕТ та алюмінієвих продуктів у повторному виробництві, тим самим наближуючи промисловість до безвідхідних виробництв;

– дає змогу отримати винагороду користувачам автомату за використану тару.

В Україні актуальність цього пристрою є вкрай високою, адже повторна переробка матеріалів економічно допоможе деяким виробникам, а також пристрій дає змогу кожному користувачу підтримати в чистоті навколишнє середовище та отримати за це винагороду.

Волокна з ПЕТ знаходять різне застосування. Наприклад, з нього виготовляють оббивку для автомобілів та килимові покриття для житлових і офісних приміщень. Приблизно 70 % усього вторинного європейського ПЕТ використовується для виробництва волокон поліестеру. Волокна великого діаметру використовуються як утеплювач спортивного одягу, спальних мішків і як наповнювач для м’яких іграшок. З тонких волокон отримують штучну шерсть, використовувану для трикотажних сорочок, светрів і шарфів. Такі тканини можуть містити до 100 % вторинного матеріалу [8].

ІІ. Аналіз вимог до фандомату

Тож, фандомат призначений для збирання тари з ПЕТ
та алюмінію. Індикація на фандоматі забезпечується РК-екраном або світлодіодним дисплеєм і світлодіодами.

Встановлюються фандомати у школах, супермаркетах, ТРЦ і в 10 % випадків на вулицях. Оскільки автомат
є стаціонарним пристроєм у більшості варіацій застосування, він не піддається вібраціям і коливанням.

Використання розроблюваного пристрою передбачається в умовах макрокліматичних районів з помірно-континентальним кліматом.

Категорія розміщення електрообладнання – для експлуатації на відкритому повітрі (вплив сукупності кліматичних факторів, характерних для даного макрокліматичного району).

Для уточнення вимог до проєктування необхідним кроком є огляд аналогічних конструкцій.

Автомат для збирання тари ARB-180 (рис.1) вироблений в Японії. Він встановлюється у школах, офісах, на виробництвах тощо. Конструкція створена з алюмінію. Розміри: 1830 мм × 560 мм × 650 мм. Метод сортування: датчик металів, магнітний датчик.

На рис.1 позначені: 1 – підсобний простір; 2 – коло управління напругою лампи; 3 – алюмінієва стійка для банок; 4 – контейнер для пластикових пляшок; 5 – контейнер для металевих пляшок; 6 – дзеркало; 7 – паз; 8 – сортувальний пристрій; 9 – контролер; 10 – паз; 11 – датчик металу;12 – магнітний датчик.

Автомат для збирання тари Incom Tomra (рис.2) виробляється у Китаї. Встановлюється у школах, офісах, на виробництвах. Корпус автомату Incom Tomra виконано з сталі. Автомат має сталевий корпус. Розміри: 1913 мм × 950 мм × 802 мм. Застосовувані методи сортування: датчик металів, магнітний датчик.

Рис.1. Фандомат ARB-180

Рис.2. Фандомат Incom Tomra [11]

Особливості:

– наявність сенсорного дисплею діагоналлю 21,5 дюймів;

– меню з вибором для користувача отримати винагороду чеком, грошима або спрямувати їх на благодійність.

III. Особливості розробки конструкції фандомату

На рис.3 наведено пояснення покрокової процедури роботи пристрою з автоматичного прийому тари з ПЕТ та алюмінію. На схемі відходи пластикових матеріалів виконують роль вхідного сигналу, а потім перевіряються кількома датчиками.

У роботі пристрою можна виділити такі основні функції:

– користувач може вставити пластикову тару будь-якої форми в автомат штрих-кодом догори;

– після внесення користувачем тара перевіряється трьома датчиками, спочатку перевіряється оптичним датчиком штрих-кодів, потім ємнісним датчиком близькості, потім інфрачервоним фотоелектричним датчиком і, нарешті, перевіряється датчиком ваги тензодатчиках. Після цього користувач отримає винагороду на основі ваги та матеріалу тари.

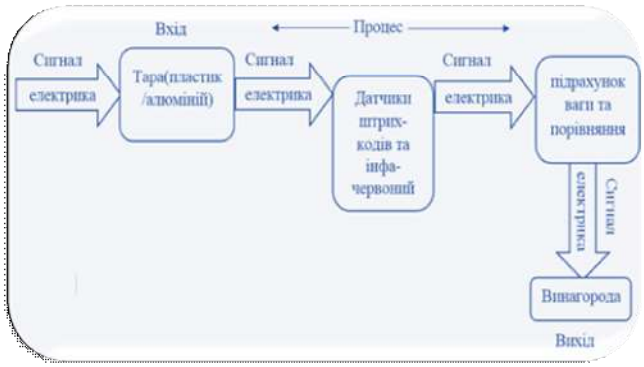


Рис.3. Блокова діаграма роботи автоматичного пристрою

Оптичний датчик сканування штрих-кодів використовується для розпізнавання тари, яку здав користувач, та подальшого знаходження у базі даних матеріалу та ваги тари.

Інфрачервоний фотоелектричний датчик виявляє присутність зайвих речовин (води, іншої рідини або каміння) у вхідній тарі, і якщо рідина є, пристрій також зупиняє процес, повідомляючи користувачу, що потрібно вилити рідину, тому що вона може нанести шкоду пристрою. Цей датчик використовує стандартні видимі світлодіоди, які пропускають світло через воду та перевіряють її за допомогою хвилі довжиною 1450 нм.

Коли ж води немає і датчик нічого не виявляє, починається наступний етап після сканування, за алгоритмом програма керування фандоматом знаходить у існуючій базі потрібну тару та порівнює її вагу з тією, що показує датчик ваги тензорезистора.

Якщо вага співпадає (можуть бути відхилення у ±5 г), користувачу нараховується винагорода в залежності від ваги та матеріалу тари, а коли вага суттєво відрізняється від потрібної, процес зупиняється.

На рис.4 наведено діаграму спрощеного варіанту принципу передачі сигналів у пристрої.

Етап вибору датчика штрих-кодів є найважливішим етапом розробки пристрою, оскільки робота всього автомату залежить від взаємодії датчика штрих-коду та отримання значень штрих-коду. На кожній пляшці або банці є надрукований унікальний штрих-код. Коли тара розміщується у пристрої, датчик штрих-коду зчитує значення штрих-коду та відправляє рядок мікроконтролеру, який обробляє дані та приймає рішення щодо прийняття або відхилення тари.

Такі виконавчі механізми, як двигуни постійного струму та модуль друку чеку/або виведення його на дисплей, необхідні для механізмів прийому пляшок і механізмів видачі винагороди. Після зчитування значення зі штрих-коду, якщо пляшка прийнята, мікроконтролер посилає сигнал на привід, щоб відкрити заслінку, яка приймає пляшку, а також виводить на дисплей код винагороди/або друкує чек.

Рис.4. Схема передавання даних у фандоматі

Створення корпусу пристрою є важливим для того, щоб забезпечити виконання наступних потреб:

– великий об'єм ємності під відпрацьовану тару;

– невеликі габарити автомату для зручного розташування у школах, ТЦ і на вулицях;

– корозійно стійкий корпус, бо більшість апаратів встановлюється на вулиці;

– зручне розташування отворів під відпрацьовану тару та приймання винагороди для комфортної взаємодії користувачами.

Основним матеріалом корпусу фандомату обрано анодований алюміній. Габаритні розміри корпусу: висота – 175 см, ширина – 65 см, глибина – 75 см. Такі розміри дозволяють розмістити всередині: блок управління; бак для прийнятої тари; механізм прийняття тари; технічну шафу. Контейнер для тари матиме розміри: висота – 80 см, ширина – 64 см, глибина – 65 см.

IV. Висновки

Розглянутий пристрій забезпечує автоматичний прийом тари з полиетилентерефталату та алюмінію та видачу винагороди користувачам.

Можлива подальша модернізація пристрою шляхом наступних покращень:

– додавання модуля зважування тари;

– додавання великого сенсорного дисплею;

– додавання системи обирання винагороди;

– додавання модуля стискування тари для економії простору.

V. Подяка

Автор висловлює подяку студентам кафедри КІТАР і учасникам наукового гуртка з напряму розробки технічних засобів автоматизації для розумних міст, своїм дипломникам, які позитивно та з ентузіазмом реагують на ідеї викладачів щодо пошуку нових рішень у цій галузі, зокрема у питаннях екологічного спрямування. Окрема подяка автору наведеної розробки, випускнику нашої кафедри за спеціальністю «Інтелектуальні засоби радіоелектроніки» Олексію Андріїву.

Перелік посилань

[1] Невлюдов І. Ш., Палагін В. А., Разумов-Фризюк Є. А., Жарікова І. В. (2015). Пристрій для циклічного перетворення механічної енергії в електричну.

[2] Рудняєв О. Д., Боцман І. В. Розробка автоматизованої системи водопідготовки для парового котла на тепловій електростанції // Матеріали VII Міжнародної науково-технічної Internet-конференції «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами», 26 листопада 2020 [Електронний ресурс].–К: НУХТ, 2020. – С. 64-65.

[3] Degradation and Regeneration in Silicon Concentrator Solar Panels / Pisminetsky V., Nevliudov I., Botsman I., Bortnikova V., Yevsieiev V., Mospan D. // IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES), Kremenchuk, Ukraine, 2019. PP. 518-521. doi: 10.1109/MEES.2019.8896610.

[4] Жарікова І. В., Переясловець М. С., Шматко С. В. Дослідження методів підвищення ефективності роботи електропостачальних систем // Proceedings of the 5th International scientific and practical conference «Topical issues of modern science, society and education». – Kharkiv, Ukraine, 28-30 November 2021. – PP. 473-477.

[5] Невлюдов І. Ш., Боцман І. В., Невлюдова В. В., Разумов-Фризюк Є. А. Технологічне забезпечення якості гнучких комутаційних структур. – Кривий Ріг: Криворізький коледж НАУ, 2018. – 260 с.

[6] Жарикова И. В. Интеллектуальная система управления освещением на базе пьезоэлемента / И. В. Жарикова, А. С. Боцман. // Радиотехника. – Харьков. – 2015. – № 1 (180) – С. 102-105.

[7] Фандомати – автомати по прийому ПЕТ-пляшок [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://auc.org.ua/ideya/fandomaty-avtomaty-po-pryyomu-pet-plyashok.

[8] Фандомати – автомати по прийому ПЕТ-пляшок [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.urbanua.org/dosvid/zakordonni-pryklady/126.

[9] Фандомати, як система мотивації сортування [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://recycle.com.ua/fandomati-yak-sistema-motivacii-sortuvannya/.

[10] Rücknahmeautomaten für PET-Flaschen und Dosen [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.engeltec.de/produkte/ruecknahmeautomaten/fuer-pet-flaschen.php.

[11] Multiple recognition recycling system-H10 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.incomrecycle-rvm.com/products/multiple-recognition-recycling-system-h10.html.

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

Доронін Павло [1] , Леонід Іванов [1]
1.Кафедра КІТАР, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА, Харків, пр. Науки. 14., email: pavlo.doronin@nure.ua
1. Кафедра КІТАР, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА, Харків, пр.Науки 14., email: leonid.ivanov@nure.ua

Анотація: робота присвячена проблемі допущення помилок при укладанні акумуляторних батарей автономного ходу електричного транспорту, зокрема тролейбуса PTS-12.

Ключові слова: охолодження, акумуляторні батареї, електричний транспорт, тролейбус PTS-12, ефективність системи.

I. Вступ

Міський електротранспорт є однією з найважливіших галузей, яка задовольняє потреби населення в перевезеннях. Акумуляторні батареї автономного ходу є основним джерелом живлення для багатьох електричних транспортних засобів. Але початок роботи транспорту напряму залежить від наявності правильного підключення батарей до системи. Автоматичний контроль підключення елементу живлення є ключовим акцентом для початку та безпечної роботи електричного транспорту

II. Обґрунтування вибору моделі та характеристики тролейбуса PTS-12.

Тролейбус РТС-12 вироблявся українською компанією ТОВ «Політехносервіс» (м. Бровари Київської області) у 2019-2021 роках на основі кузовів МАЗ-203Т (рис.1) [1].

Рисунок 1 – Тролейбус PTS-12

Тягова літій-іонна батарея ЕТЗ номінальною потужністю 65 кВт вироблена компанією «Політехносервіс». Тягова батарея знаходиться у відсіку під сидіннями по лівому борту тролейбуса. Батарея являє собою послідовно з'єднані секції Li-Ion акумуляторів в середині корпусу (рис. 2).

Завдяки застосуванню літій-іонної батареї тролейбус може долати до 70 км. без контактної мережі. Потім під час руху тролейбуса під контактною мережею протягом одної — двох годин батарея повністю заряджається і транспортний засіб може подолати таку ж відстань.

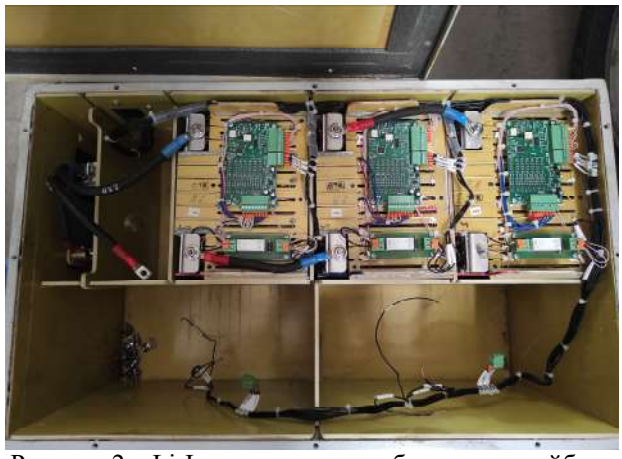


Рисунок 2 – Li-Ion акумуляторна батарея тролейбуса PTS-12

Блоки живлення мають сучасну систему керування зарядом, яка аналізує споживання напруги тією чи іншою частиною системи тролейбусу та її температуру, передаючи усю інформацію на комп'ютер чи планшет.

III. Визначення проблеми та її актуальність.

Якщо при експлуатації показники вузла тролейбуса не відповідають нормі, то електронний блок керування отримує команду провести коригування (якщо це можливо) або електронний блок керування зупинить експлуатацію тролейбуса до усунення проблеми. Моніторинг напруги та температури в кожній комірці акумуляторної батареї відбувається постійно, в акумуляторній батареї тролейбуса PTS-12 число комірок – 140 штук. Якщо температура або напруга хоча б однієї комірки не відповідає нормі, експлуатація тролейбуса припиняється до усунення проблеми, а саме: підзарядки від контактної мережі або охолодження акумуляторної батареї.

IV. Мета дослідження.

Метою даного дослідження є визначення цілей та завдань для розробки та впровадження системи автоматизованого контрою укладання акумуляторних батарей електричного транспорту, зокрема тролейбуса PTS-12.

Конкретні цілі та завдання дослідження включають підвищення тривалості служби батарей завдяки забезпеченню правильного підключення, що сприятиме підвищенню їхнього терміну служби та зменшенню необхідності у заміні.

Покращення контролю укладання АКБ - створення системи, завдяки якій можна буде контролювати усі найважливіші параметри роботи акумуляторних батарей та запобігати неплановій зупинці транспорту та виходу батарей з ладу.

V. Обґрунтування важливості розробки системи контролю укладання для акумуляторних батарей електричного транспорту

Важливість розробки системи контролю укладання акумуляторних батарей електричного транспорту, зокрема тролейбуса PTS-12, може бути обґрунтована з кількох ключових позицій:

1. Уникнення помилок при встановленні акумуляторних батарей: неправильне встановлення батарей у тролейбусі може призвести до короткого замикання. Це, у свою чергу, може призвести до опалення дротів та виходу з ладу усієї системи керування тролейбусом.
2. Запобігання перегріву батарей завдяки температурному індикатору: вчасне охолодження акумуляторів дозволяє підвищити ефективність батарей та збільшити діапазон пробігу транспортного засобу на одному заряді. Перегрів батарей може призвести до зменшення ємності та втрати її продуктивності, а також (при сильному перегріві) до повної зупинки транспорту. Якщо елемент нагрівається до 80-90°C, може запуститись хімічна реакція, яка продовжить його нагрівати; при досягненні температури 180-200°C відбувається самозаймання з подальшим підвищенням температури аж до 900°C.
3. Моніторинг напруги у мережі: стеження за напругою батарей дозволить водію вчасно побачити кількість енергії, яку споживає та чи інша система, і на підставі цього більш детальніше розрахувати свій маршрут.

VI. Різновиди акумуляторних батарей

1. AGM акумулятори - це ще один тип свинцево-кислотних батарей, що не обслуговуються. Дані акумулятори виготовляються за допомогою технології absorbent glass mat, завдяки чому і отримали свою назву. AGM-технологія має на увазі, що весь електроліт акумулятора знаходиться у зв'язаному стані. Звичайні свинцево-кислотні акумулятори заповнені вільним рідким електролітом, у той час як у AGM АКБ весь електроліт міститься у спеціальній скловолоконній матриці, яка розташована між пластинами. Безперечною перевагою цього типу акумуляторів є висока енерговіддача. Також AGM акумулятори демонструють високу швидкість зарядки (порівняно зі звичайними свинцево-кислотними АКБ). AGM акумулятори не бояться морозів. Також важливо відзначити, що даний тип акумуляторів значно дешевший, ніж розглянуті раніше гелеві АКБ.

Будова акумуляторів AGM типу представлена на рис.3 [2,3].

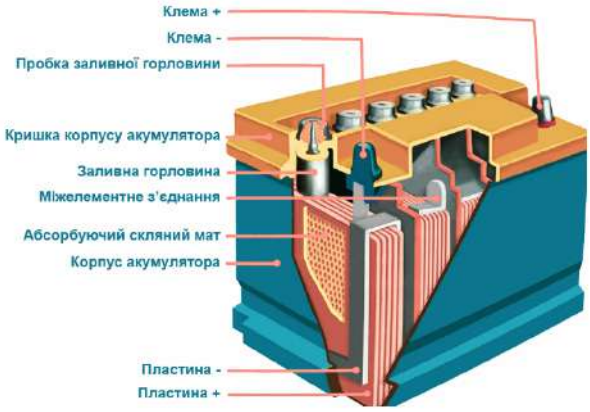


Рисунок 3 - Будова акумуляторів AGM типу

Основні моменти, які для деяких користувачів можуть стати недоліками - AGM акумуляторні батареї характеризуються великою вагою. Їх ціна більша, ніж у звичайних свинцево-кислотних батарей. Технічні характеристики АКБ знижуються при глибокому розряді пристрою.

Переваги AGM акумуляторів:

– Не потребують постійного обслуговування;
– Герметична конструкція;
– При перевертанні електроліт не витікає, а знаходиться абсорбуючому скляному маті;
– Тривалий термін служби (5-12 років);
– Тривалий термін зберігання (до 3-х років) без великої втрати ємності;
– Високий струм віддачі (в 1,5 разів більший звичайних кислотних) і швидка зарядка;
– Стійкі до глибоких розрядів;
– 200 повних розрядів; 500 розрядів при розряджанні на 50%; близько 1000 циклів при розряджанні на 20-30%.

Недоліки AGM акумуляторів

– Висока вартість в порівнянні з свинцево-кислотними акумуляторами;
– Великі габарити та вага;
– Потребують спеціальних зарядних пристроїв;
– Чутливі до перезарядів та коротких замикань.

2. Мультигелеві акумулятори - це досить популярний і затребуваний тип АКБ. Унікальність даного типу пристроїв полягає в тому, що для їх виготовлення використовується технологія AGM, а як електроліт використовують не рідкий електроліт, а його гелеподібний аналог. Цей тип АКБ відрізняється високим ресурсом циклів заряд-розряду. При цьому багатогелеві батареї демонструють низький саморозряд, а також мінімальні показники зносу при досить інтенсивної експлуатації. Мультигелеві АКБ швидко заряджаються і можуть використовуватися навіть за низьких температур.

У порівнянні зі звичайними кислотними АКБ мультигелеві мають ряд незаперечних переваг:

- підвищені ізоляційні якості пластин;

- значно ускладнюється вихід газів і електроліту за межі капілярної системи сепаратора, що говорить про надійність і повну безпеку пристрою;
- хоча електроліт і має гелеподібну консистенцію, рухливість іонів залишається високою, що, в свою чергу, забезпечує відмінні зарядні-розрядні характеристики;
- конструкція АКБ повністю герметична, завдяки чому пристрій досить безпечний і може використовуватися для експлуатації в житловому приміщенні, при цьому відпадає необхідність в обслуговуванні акумулятора.

3. Тягові акумулятори - це пристрої, розроблені для використання в електричних транспортних засобах та іншій техніці, де потрібен великий запас енергії для приводу двигунів і моторів. Такі батареї мають високу енергетичну щільність і можуть видавати велику потужність під час роботи на тривалих інтервалах часу. Це універсальний тип батарей, які не потребують обслуговування. Тягові акумулятори можуть мати різні конструкції та форми, мати різну ємність і діапазон робочих температур. Заряджають АКБ від мережі змінного струму, хоча деякі моделі також можуть використовуватися з сонячними панелями. Вони принципово відрізняються від звичних стартерних (автомобільних) акумуляторів. Їхнім безпосереднім завданням є безперервне постачання енергією різної техніки, механізмів і т. ін. Ємність тягових акумуляторів варіюється від 5 А*год до 250 А*год.

Порівняння характеристик тягових акумуляторів наведена в таблиці 1.

Таблиця 1. Порівняльні характеристики тягових акумуляторів

	AGM	GEL	Li-ion	LiFePO4	MG
Зарядка	Менш вимогливий до максимальної напруги під час заряджання, тому йому підійде будь-яка зарядка не сильніше 10А	Дуже чутливі до якості зарядного пристрою. Чутливі до короткої замикань.	Допускається частково зарядка, для ефективної роботи в циклічно заряджати батарею за потрібної температури. Заряджати можна тільки пристроєм з алгоритмом заряду CC/CV.	Можливий частковий заряд батарей, заряджати необхідно постійним струмом, постійною напругою або поєднанням цих способів.	Заряджати можна тільки багатоступінчастими зарядками, зрівнювачі запобігати стрибкам напруги і перезаряду.
Кількість циклів заряду	Близько 300 циклів.	700 циклів	2000 циклів	7000 циклів	800 циклів.
Глибока розрядка	Не рекомендується розряджати нижче, ніж 30%. При розрядці на 100% сильно зменшується кількість робочих циклів.	Не рекомендується розряджати нижче, ніж 20%. При розрядці на 100% сильно зменшується кількість робочих циклів.	Допускається глибока розрядка до 10% ємності батареї.	Не рекомендується допускати глибоку розрядку менше 50% і тривале зберігання в розрядженому стані.	Не рекомендується розряджати нижче, ніж 20%. При розрядці на 100% сильно зменшується кількість робочих циклів.
Положення експлуатації	У будь-якому положенні	У будь-якому положенні	У будь-якому положенні	У будь-якому положенні	У будь-якому положенні

Тягові акумулятори є ідеальним вибором для таких пристроїв, де потрібна надійна і довговічна енергетична система. Наприклад, тягові акумулятори використовують для забезпечення живлення електротранспорту — автомобілів, тролейбусів, скутерів, човнів з електромотором, різної спецтехніки — підіймачів, верстатів з ЧПУ, транспортних стрічок і для створення систем енергонезалежності.

4. Літій-іонні акумулятори, широко відомі через використання в портативних комп'ютерах та побутовій електроніці, переважають у найсучаснішому процесі розробки. Традиційно, літій-іонна хімія включає в себе катод оксиду літію, кобальту та графітовий анод. Це дає комірці вражаючу питому енергією 230 Wh / kg і високу питому потужність з високою ефективністю заряду та розряду від 85 до 95%.

Недоліком літій-іонних акумуляторів є короткий термін життя (500-2000 циклів) і значна втрата ємності з віком [2-4].

VII. Висновки

Розробка та впровадження системи контролю укладки для акумуляторних батарей тролейбуса PTS-12 є важливою частиною у забезпечені ефективності та надійності роботи електричного транспорту. Ця система дозволяє контролювати правильне встановлення та підключення батарей у слотах, стежити за витратами енергії та спостерігати за ємністю заряду, завдяки чому можна забезпечити тривалу та якісну роботу електричного транспорту.

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] Поширені типи акумуляторів, які найчастіше використовуються для накопичення електроенергії. Advance: https://sun-energy.com.ua/articles/typy-akumulyatoriv.

[3] Як вибрати акумулятор? Типи батарей та їх особливості. Advance: https://7sorok.ua/article/kak-vybrat-akkumulyator-tipy-akkumulyatornyh-batarei-i-ih-osobennosti.html.

Необхідність контролю вихідного сигналу з бортового перетворювача напруги для електротранспорту

Фарзуллаєв Рашад [1] , Леонід Іванов [1]
1.Кафедра КІТАР, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА, Харків, пр. Науки. 14., email: rashad.farzullaiev@nure.ua
1. Кафедра КІТАР, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА, Харків, пр.Науки 14., email: leonid.ivanov@nure.ua

Анотація: робота присвячена проблемі нестабільного вихідного сигналу після інвертування напруги.

Ключові слова: перетворювач ІРТ 830/27-150, модуль, інвертор електричний транспорт, тролейбус, ефективність системи, напруга, сигнал.

I. Вступ

Частотний перетворювач напруги (ЧПН) є спеціалізованим електротехнічним пристроєм, який дозволяє регулювати частоту електричної напруги в системах живлення. Він використовується для регулювання обертової частоти електродвигунів, що дуже важливо у виробничих процесах.

Важливими перевагами використання ЧПН є:

– точне регулювання частоти обертання двигуна;
– плавність пуску;
– економія електроенергії шляхом оптимізації робочої швидкості обладнання;
– зменшення механічного зносу і підвищення тривалості служби електродвигуна та обладнання в цілому;
– злагодженість роботи системи;
– зручна комутація, управління та контроль техпроцесів.

Таким чином, ЧПН впливає на продуктивність та ефективність виробничих процесів, сприяючи зменшенню електроспоживання та підвищенню стабільності систем живлення.

Метою роботи є створення модулю для контролю параметрів вихідної напруги. Без застосування цього пристрою існує великий ризик частих і серйозних відмов у роботі, тому що параметри вихідних сигналів повинні дотримуватися норми.

У сучасних тролейбусах таких перетворювачів напруги чотири, вони встановлені на даху транспортного засобу і кожний з них відповідає за конкретну функцію інвертування для різних приладів, а саме:

1. для роботи гідропідсилювача;
2. для компресора;
3. для заряду акумулятора;
4. для батареї автономного ходу.

Струм, який кожний з них інвертує, відрізняється в такому порядку:

– для гідропідсилювача — вхід - 58 В/вихід - 550 В;
– для компресора — вхід - 800 В/вихід - 550 В;
– для заряду акумулятора — вхід - 830 В/вихід -27 В;
– для батареї автономного ходу — вхід - 830 В/вихід -58 В.

Якщо один з них вийде з ладу, то транспортний засіб не зможе рухатися.

II. Дослідний огляд перетворювача ІРТ 830/27-150.

Статичний перетворювач напруги ІРТ 830/27 – 150 призначений для електроживлення бортової мережі тролейбусів TR14, TR15 та перетворює напругу контактної мережі постійного струму номінальним значенням 660 В у постійну стабілізовану напругу 28 В у буферному режимі з акумуляторною батареєю тролейбуса.

Перетворювач напруги має наступний вигляд (рис 1.). Перетворювач відповідає загальним вимогам безпеки згідно ДСТУ 2817-94 «Система стандартів безпеки праці. Апарати електричні комутаційні на напругу до 1000 В. Вимоги безпеки (ГОСТ 12.2.007.6-93)» [1] для виробів класу захисту 01 і має гальванічну розв'язку вхідних і вихідних електричних ланцюгів.

Рисунок 1 — Тролейбусний частотний перетворювач напруги

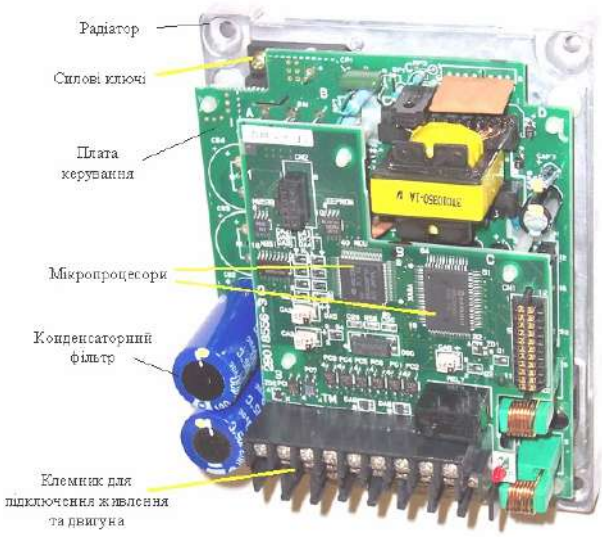
Охолодження перетворювача природне. Гарантійний термін експлуатації 2 роки.

Корпус перетворювача захищений:
- від коротких замикань у бортовій мережі;
- від перегрівання;

- від неприпустимого підвищення або пониження напруги в контактній мережі.

Перетворювач виконаний із застосуванням сучасних транзисторів і безкорпусних технологій та є стабілізованим джерелом напруги з обмеженням вихідного струму і захистом від аварійних режимів. Вихідна характеристика перетворювача забезпечує зарядку акумуляторної батареї тролейбуса і електроживлення бортових споживачів. Діапазон регулювання і точність підтримки вихідної напруги забезпечують можливість нормальної роботи з різними типами акумуляторних батарей. Перетворювач підключається до контактної мережі, виконаний в захищеному корпусі (виконання IP54) і розрахований на установку без спеціального захисту.

а)



б)

Рисунок 2 –Статичний перетворювач IPT 830/27 (для заряду акумулятора):
а) інформаційна табличка на корпусі виробу;
б) перетворювач частоти зі знятою кришкою [2]

Інвертори напруги серії IPT розраховані на підключення до мережі з номінальною напругою постійного струму 660 В. Зазвичай, такий рівень напруги підтримується в контактній мережі міського електротранспорту.

Конвертори напруги цієї серії містять вхідні фільтри, що дозволяють обмежити вплив імпульсних перенапруг мережі на функціонування, у більшості випадків запобігають виходу пристрою з ладу через перенапруги.

Ще однією характерною особливістю є висока міцність електричної ізоляції між входом і виходом конвертора. Оболонка конвертора надійно захищає його від впливів довкілля. Тепло, яке неминуче виділяється у процесі перетворення електроенергії, відводиться від виробу природним способом, без застосування вентиляторів. Конструкція – стійка до дії вібрацій та ударів. Все це дозволяє застосовувати конвертори серії IPT на таких транспортних засобах, як трамвайні вагони та тролейбуси.

Силова частина конвертора виконана за схемою Forward, який відрізняється простотою у виготовленні та ремонті. Високі показники ефективності перетворення електричної оенергії досягаються ретельним підбором магнітних матеріалів, можливості яких використовуються повною мірою. Також використовуються нові досягнення виробників силових напівпровідникових приладів. Останнім часом деякі модифікації конверторів використовуються для електроживлення пристроїв зв'язку від напруги контактної мережі міського транспорту, їхня вихідна напруга становить 48 В (з можливістю регулювання). Вихідна потужність таких пристроїв коливається від 200 до 2500 Вт. Найменше значення потужності використовують для електроживлення камер вуличного відеоспостереження, потужніші пристрої призначені для передавальних пристроїв операторів мобільної зв'язку.

III. Визначення проблеми та її актуальність

Актуальність роботи полягає в тому, що у тролейбусі є чотири однотипних перетворювача з різними входами та виходами напруги, але напруга на виході буває нестабільною та є ймовірність виходу з ладу пристрою, для якого інвертували сигнал, а якщо один з перетворювачів вийде з ладу то транспортний засіб зовсім не зможе рухатись. Тому контроль вихідних параметрів після перетворення напруги дуже важливий, оскільки вихідний сигнал після інвертування може бути нестабільним: застосування модуля контролю на виході сигналу з бортового перетворювача напруги необхідно, щоб хід транспорту був безпечним.

Основні технічні характеристики базової моделі конвертера напруги IPT 830/27-150:

По входу:

Номінальне значення напруги	660;
Допустимий діапазон зміни	440 – 820;
Розширений діапазон вхідних напруг	300 – 820;

По виходу:

Номінальне значення напруги	28;
Максимальний вихідний струм, А	150;
Захист від перегріву, внутрішніх пошкоджень	є;
Габаритні розміри, мм	500*250*250;
Маса, кг	20;
Ступінь захисту оболонки	IP54.

Для захисту від перегріву та можливих пошкоджень перетворювачі встановлено на даху тролейбуса (рис.3).

Рисунок 3 — перетворювачі, які розташовані на даху тролейбуса

IV. Мета дослідження

У роботі пропонується створення (на мові Phyton) модулю управління для контролю параметрів вихідного сигналу бортового перетворювача напруги. Без цього модуля напруга на виході буде нестабільна, а робота без такого модуля призводить до швидкого зношування і несправності приладу. При цьому слід зазначити, що навантаження при роботі транспортного засобу великі, він знаходиться у щільному режимі роботи більше 12 годин на зміну.

Основна ідея при розробці пристрою автоматизованого управління полягає в тому, що вихідний сигнал приймається і контролюється запрограмованим модулем, який робить аналіз та підтримує правильність вихідного значення напруги.

V. Теорія математичного опису сигналу

Всі фізичні процеси з точки зору теорії сигналів описуються математичними функціями з тими чи іншими властивостями. Здебільшого - це неперервні функції свого аргументу, або числові послідовності. [3,4,5]

Процедуру описання сигналу за допомогою математичної функції можна розглядати як процедуру побудови математичної моделі сигналу. Математична модель сигналу – це створена або обрана дослідником математична функція чи система функцій, яка відображає істотні властивості сигналу, який досліджується. Дослідження моделі сигналу може до певної міри замінити дослідження реального сигналу та дати нову інформацію про об’єкт, з яким сигнал пов’язаний. Моделюванню сигналів присвячений окремий розділ теорії сигналів. Отже, насправді весь математичний апарат теорії сигналів працює не з реальними сигналами (напругами, тисками чи інтенсивностями), а з їх математичними моделями – функціями, які описують сигнали.

Оскільки і реальні об’єкти, і сигнали, які відповідають їх характеристикам, мають багато різноманітних параметрів, сигнали можна класифікувати за багатьма ознаками. Від того, які властивості мають сигнали, залежить вид функції, яка використовується для математичного описання сигналу. За причиною виникнення або за об’єктом, з яким пов’язаний сигнал, їх поділяють на:

а) сигнали природних систем, тобто фізичних та біологічних об’єктів. Прикладом може бути сигнал електроенцефалограми – запис електричних коливань, що супроводжують роботу мозку, або випромінення зірок, що реєструється інфрачервоними телескопами;

б) сигнали штучних систем, тобто технічних пристроїв. Наприклад, таким сигналом є сигнал, зареєстрований антеною стільникового телефону. Залежно від властивостей функцій, що описують неперервні сигнали, їх можна поділити на такі види, які часто зустрічаються на практиці.

VI. Висновки

У цій роботі було розглянуто основні характеристики, переваги та недоліки роботи тролейбусних перетворювачів напруги ІРТ 830/27-150, досліджено принцип їх роботи. Виходячи з цього, запропоновано створити модуль автоматизованого управління процесом контролю параметрів вихідного сигналу бортового перетворювача напруги. Його застосування дозволить аналізувати, контролювати у режимі реального часу та підтримувати у заданих межах правильність вихідного сигналу перетворювача напруги акумуляторної батареї та гідропідсилювача.

Перелік посилань

[1] ДСТУ 2817-94 Система стандартів безпеки праці. Апарати електричні комутаційні на напругу до 1000 В. Вимоги безпеки (ГОСТ 12.2.007.6-93)

[2] Що таке перетворювач частоти. Advance: https://elprivod.nmu.org.ua/ua/entrant/frequency_converter.php

[3] Френкс Л. Теорія сигналів.1974.

[4] P. B. Johns, "A symmetrical condensed node for the TLM method," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT-35, pp.370-377, Apr. 2007.

[5] V. Trenkic, C. Christopoulos, and T.M. Benson, "Efficient computational algorithms for TLM," in 1st Int. Workshop TLM, Univ. Victoria, Canada, Aug. 2015, pp. 77-80.

Класифікація вибухонебезпечних об’єктів, їх візуальні ознаки, методи маскування та ідентифікації

Сергій Новоселов[1], Дмитро Шестак[2]
1. Професор кафедри КІТАМ, , Харківського національного університету радіоелектроніки, УКРАЇНА, Харків, пр. Науки. 14., email: sergiy.novoselov@nure.ua
2. Студент гр. КТРСм-22-1, Харківського національного університету радіоелектроніки, УКРАЇНА, Харків, пр. Науки. 14., email: dmytro.shestak@nure.ua

Анотація: В даному матеріалі наведено практичні проблеми ідентифікації вибухових речовин за їх візуальними характеристиками. Дослідження спрямоване на розробку методів і підходів для класифікації цих об’єктів з використанням сучасних технологій машинного навчання та комп’ютерного зору. У цій статті наведено огляд існуючих архітектур нейронних мереж, які використовуються для вирішення цієї проблеми, наприклад CNN (згорткові нейронні мережі) та їх модифікованих версій, включаючи AlexNet, GoogleNet, VGG, ResNet і ResNeXt. Підкреслюється важливість правильного вибору архітектури для отримання оптимальних результатів класифікації вибухових речовин. Крім того, у цій статті розглядаються методи попередньої обробки зображень і важливість даних для навчання. Основна увага зосереджена на тому, як сучасні технології можуть підвищити точність і швидкість ідентифікації вибухових речовин, що важливо для забезпечення безпеки в зонах, де існують потенційні вибухові загрози.

Ключові слова: ідентифікація, комп’ютерний зір, OpenCV.

I. Вступ

У наш час питання мінування великих територій є дуже актуальним. Через великі масштаби проблеми, розмінування може тривати роками. Для оптимізації та автоматизації процесу, необхідно використовувати автономних роботів саперів, які мають комп’ютерний зір для ідентифікації мін та вибухонебезпечних об’єктів.

II. Інструкція для авторів

В умовах сучасного світу, де загроза життю й безпеці людини збільшена за рахунок бойових дій і мінування житлових будинків, вулиць та лісів, проблема виявлення та ідентифікації вибухонебезпечних об'єктів має величезне значення. Ця проблема виникає в найрізноманітніших контекстах: від військових операцій до робіт із зачистки вибухонебезпечних об'єктів під час рятувальних операцій та робіт із зносу будівель. Важливим аспектом цієї проблеми є можливість ідентифікації цих об'єктів на основі їх візуальних ознак.

До категорій вибухонебезпечних предметів включаються такі:

– вибухові речовини: це хімічні сполуки або суміші, які можуть реагувати на певні зовнішні впливи (такі як нагрівання, удар, тертя, або взаємодія з іншими вибуховими пристроями), що призводить до швидких хімічних перетворень. Ці перетворення можуть відбуватися самостійно і супроводжуватися великою вивільненням енергії і виділенням газів.

– боєприпаси — це військова техніка, яка використовувалася один раз для ураження солдат противника.

Боєприпаси включають:

– боєголовка ракети;

– авіаційні бомби;

– артилерійські боєприпаси, такі як міни та артилерійські снаряди;

– технічні боєприпаси, в тому числі протитанкові та протипіхотні міни. Ручна граната;

– боєприпаси для стрілецької зброї, такі як патрони до пістолетів, гвинтівок, автоматів тощо;

– феєрверк — патрони, вибухові пакети, петарди тощо. Ракета, включаючи вогні та сигнали;

– димові шашки;

– саморобні вибухові пристрої мають принаймні один інноваційний компонент у своїй конструкції. Це може включати саморобні мін-пастки та інші подібні пристрої.

Усі види боєприпасів, такі як артилерійські міни, кулі, реактивні та технічні міни, авіаційні бомби, ручні гранати та інші, споряджені вибуховими речовинами і можуть вибухнути внаслідок зіткнення, тертя, удару чи будь-якого іншого механічного чи термічного впливу.

Під час вибуху гази, які утворюються з величезною силою, розривають металевий оболонку боєприпаса на багато осколків, які розсипаються усіма напрямками та завдають шкоди на значній відстані від місця вибуху.

Вибухові речовини, використовувані у боєприпасах, мають різний колір, починаючи від світло-жовтого і закінчуючи темно-коричневим. Навіть після тривалого перебування у воді або ґрунті ці вибухові речовини не втрачають своєї здатності до вибуху. В окремих випадках, вони можуть навіть реагувати хімічно з металевою оболонкою боєприпаса, утворюючи новий вид дуже чутливого вибухового сполуку.

Артилерійські снаряди - це амуніція, яка використовується у великокаліберних артилерійських гарматах та гаубицях для стрільби з важкої артилерії. Вони призначені для нанесення удару на значну відстань на різні типи цілей, включаючи живу силу супротивника, військову техніку, інфраструктуру та інші об'єкти. Ось деякі характеристики

артилерійських снарядів: Артилерійські снаряди складаються з трьох основних компонентів: металевого корпусу, вибухового заряду та підривача, який може бути розташованим на голові або на дні снаряда.

Артилерійські та зенітні міни, візуалізація на рис. 2, по суті мають такий же склад, як і артилерійські снаряди. Артилерійські міни: Ці міни розроблені для використання артилерійськими силами. Вони можуть бути запущені або скинуті з артилерійських гармат або мінометів і призначені для надання підтримки військовим операціям. Артилерійські міни мають різні типи вибухових зарядів та діапазон дії.

Зенітні міни: Ці міни спеціально розроблені для захисту від повітряних цілей, таких як літаки та дрони. Вони можуть бути розташовані на зенітних комплексах і запущені вгору, щоб вони могли нейтралізувати цілі, які перебувають у повітрі. Зенітні міни також мають різні види вибухових зарядів та систем керування.

У нижній частині міни знаходиться стабілізатор, а також вибухова камера. Серед усіх видів боєприпасів артилерійські міни вважаються найнебезпечнішими, оскільки їх запали дуже чутливі до будь-яких механічних впливів або тепла. Обидва типи мін є дуже небезпечними та піддаються суворому контролю, оскільки вони можуть завдати серйозної шкоди ворогові або навколишньому цивільному населенню. Використання цих мін підлягає міжнародним нормам та правилам, а також має бути проведено з дотриманням військового міжнародного права.

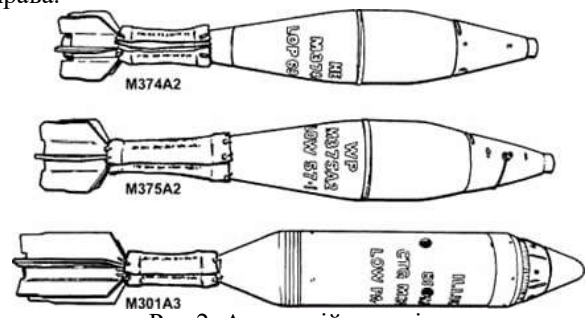


Рис.2. Артилерійська міна

Інженерні міни, візуалізація на рис. 3, є складними вибуховими пристроями, призначеними для підриву та завдає пригнічуваного ураження живої сили ворога або перешкоджають руху ворожих військ та техніки. Вони використовуються військовими із метою створення оборонної лінії, блокування шляхів руху ворожих військ або завдання максимальної шкоди при ворожих атаках. Ці міни можуть бути заховані у ґрунті, воді, або під шаром снігу, і при активації вони спричиняють вибух, що наносить шкоду або завдає травм особам та об'єктам, які знаходяться в їхньому радіусі дії.

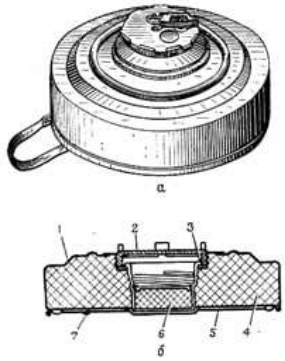


Рис.3.Схема інженерної міни
а – загальний вигляд; б – розріз; 1 – корпус; 2 – щиток; 3 – підривник; 4 – діафрагма; 5 – заряд; 6 – дно; 7 – центральний детонатор; 8 – боковий детонатор; 9 – пробка;

Інженерні міни можуть бути класифіковані за декількома критеріями, включаючи їх призначення (протипіхотні або протитанкові), спосіб активації (натискання, тягнення, акустичний сигнал тощо), та тип спрацювання (наприклад, контактний або безконтактний вибух).

Авіаційні бомби, візуалізація на рис. 4, схожі на артилерійські міни зовнішньо, але можуть мати додаткові бокові та донні підривачі. Нерозірвані авіабомби часто виявляють під час земельних робіт на великій глибині. Авіаційні бомби - це зброя, яка використовується в авіації для здійснення аерозбройних атак з повітря на різні цілі на землі. Вони можуть мати різну конструкцію та ефективність в залежності від їх типу та призначення. Авіаційні бомби є важливою складовою військової аерозброї та використовуються для різних військових операцій та завдань. Їх ефективність залежить від точності наведення, конструкції та типу бомби.

Рис.4. Схеми авіаційних бомб

Гранати ручного кидка, візуалізація на рис. 5, мають або яйцеподібну або циліндричну форму. Зазвичай вони оснащені запалами, які розміщуються у спеціальному запальному гнізді корпусу, і у більшості випадків ці запали є невидимими. Гранати ручного кидка можуть бути різних типів, включаючи гранати із здатністю утримувати противника у зоні вибуху, димові гранати для створення димового екрану, силові гранати, що призначені для

нейтралізації ворожої загрози та інші. Вони можуть також мати різні системи запалювання, такі як головні запали або запали з таймером.[1]

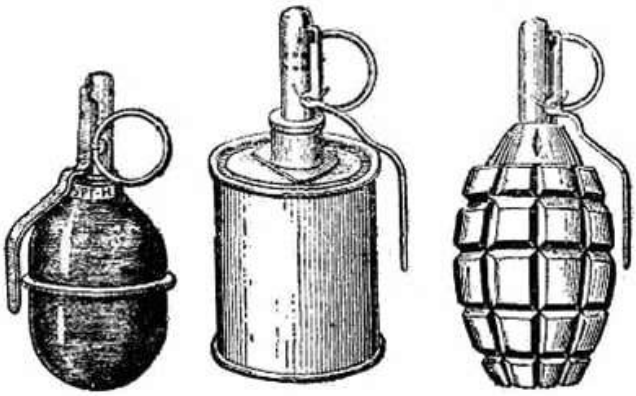


Рис.5. Ручні гранати

II. Маскування вибухонебезпечних об’єктів

Маскування вибухонебезпечних об'єктів це процес зниження їхньої видимості і ідентифікації з метою приховання від ворожого виявлення. Це може включати в себе наступні методи:

– камуфляж. Використання спеціальних фарб або матеріалів для надання вибухонебезпечному об'єкту вигляду природних об'єктів або інших об'єктів, що навколо нього. Наприклад, вибухонебезпечні об'єкти можуть бути покриті камуфляжними кольорами, щоб їх було складніше помітити;

– маскувальні сітки. Використання спеціальних сіток, які можуть встановлюватися навколо вибухонебезпечного об'єкта для розбиття його силуету і мінування;

– закопування. Закопування вибухонебезпечного об'єкта в землю, приклад на рис. 5, або пісок так, щоб лише частина його залишалася видимою;

Рис. 5. Закопана міна

– використання навколишнього середовища. Використання природних або штучних об'єктів, приклад наведено на рис. 6, таких як будівлі, рослини, чи інші структури, для приховання вибухонебезпечного об'єкта;

Рис. 6. Граната прикріплена до дерева та міна встановлена у високій траві

– електронне маскування. Використання електронних систем, які можуть створювати фальшиві сигнали або перешкоди;

– імітація. Встановлення імітаційних об'єктів або атрибутів, що можуть відволікти увагу від справжнього вибухонебезпечного об'єкт;

– тимчасове мінування. Переміщення вибухонебезпечного об'єкта в інше місце або зміна його структури мінування;

Маскування вибухонебезпечних об'єктів допомагає зменшити їхню вразливість.

III. Існуючі методи ідентифікації об’єктів

Для розпізнавання різних типів об’єктів використовуються різні методи, до таких методів належать традиційні і сучасні способи. До традиційних методів ідентифікації і обробки зображення, як правило, немає необхідності у використанні бази даних для навчання.

Одним із найпопулярніших інструментів є OpenCV. Він має відкритий вихідний код і розповсюджується за допомогою ліцензії Apache 2, є високо оптимізованою бібліотекою, орієнтованою на додаток реального часу.

До кросплатформеним інтерфейсам відносяться C++, Python та Java. І підтримують ОС: Linux, MacOS, Windows, IOS та Android.

До плюсів їх відносяться такі характеристики:
- Для задач не потрібні вручну оброблені зображення з поміченими областями та об’єктами

До мінусів відносяться погане розпізнавання складних сцен без однотонного фону, частково скритих об’єктів, ефекту невпорядкованості, проблеми через освітлення і тіні.[2]

До сучасних методів відносяться методи глибокого навчання з використанням комп’ютерного зору. За даних методів продуктивність має обмеження у вигляді обчислювальної потужності графічних процесорів. Через стрімкий розвиток технологій, обчислювальна потужність графічних процесорів стрімко зростає, тож ці методи є більш перспективними за традиційні.

Комп’ютерне бачення – це сфера машинного навчання, яка займається інтерпретацією та розумінням зображень і відео. Він використовується, щоб навчити комп’ютери «бачити» та використовувати візуальну інформацію для виконання візуальних завдань, які можуть виконувати люди.

Моделі комп’ютерного зору розроблені для перекладу візуальних даних на основі функцій і контекстної інформації, виявленої під час навчання. Це дозволяє моделям інтерпретувати зображення та відео та застосовувати ці інтерпретації для прогнозування чи прийняття рішень.

Сучасні алгоритми комп’ютерного зору засновані на згорткових нейронних мережах (CNN), які забезпечують суттєве підвищення продуктивності порівняно з традиційними алгоритмами обробки зображень.

CNN — це нейронні мережі з багаторівневою архітектурою, які використовуються для поступового скорочення даних і обчислень до найбільш прийнятного набору. Потім цей набір порівнюється з відомими даними, щоб ідентифікувати або класифікувати вхідні дані.

Продуктивність і ефективність CNN визначається її архітектурою. Це включає структуру класів, те, як спроектовані елементи та які елементи є в кожному класі.

До плюсів сучасних методів відносяться: можливість роботи зі складними сценами, стійкість до оклюзії і можливість розпізнавання образів з меншою похибкою, спричиненою освітленням і тінями.

До мінусів відноситься: величезна кількість необхідних вхідних даних для навчання, необхідність ручного маркування об’єктів, що є дуже кропіткою та дорогою роботою (від 400 до 500 тис об’єктів є припустимою кількістю)

Також даний метод широко визнаний дослідниками, а також використовується компаніями для створення комерційних продуктів.[3]

IV. Існуючі методи ідентифікації об’єктів

Для сучасних методів використання комп’ютерного зору існує велика кількість архітектур глибокого навчання:

– AlexNet — це архітектура, заснована на попередній архітектурі LeNet. Він складається з п'яти згорткових шарів і трьох повністю з'єднаних шарів. AlexNet використовує структуру подвійного конвеєра, щоб забезпечити використання двох графічних процесорів під час навчання;

– GoogleNet — відомий як Inception V1, базується на архітектурі LeNet. Він складається з 22 шарів, які складаються з невеликих згорткових груп, які називаються «початковими модулями». Ці початкові модулі використовують пакетну нормалізацію та RMSprop, щоб зменшити кількість параметрів, які має обробляти GoogleNet. RMSprop — це алгоритм, який використовує методи адаптивної швидкості навчання. VGG 16 — це 16-рівнева архітектура (деякі варіанти мають 19 рівнів);

– VGG — базується на концепції набагато глибшої мережі з меншими фільтрами – він використовує структури 3x3 по всьому шляху, що є найменшим розміром фільтра conv. дивіться лише на певні сусідні пікселі. Він використовує маленькі фільтри через меншу кількість параметрів, що дозволяє додавати більше шарів. Він має таке ж ефективне сприйнятливе поле, якби у вас був згортковий шар 7x7;

– ResNet, скорочення від Residual Neural Network, — це архітектура з великою кількістю рівнів. Зазвичай використовуються архітектури від ResNet-18 (з 18 шарами) до ResNet-1202 (з 1202 шарами). Ці рівні налаштовані з унітарними або «пропускними» з’єднаннями, які дозволяють передавати інформацію до наступних згорткових рівнів. ResNet також використовує нормалізацію пакетів для підвищення стабільності мережі;

– ResNeXt-50 — це модульна архітектура з 32 паралельними шляхами. Він використовує підрахунок тегів для зменшення помилок перевірки та спрощення початкових модулів, що використовуються в інших архітектурах.

Двоетапне виявлення об'єктів – для першого кроку потрібна мережа регіональних пропозицій (RPN), яка надає кілька регіонів-кандидатів, які можуть містити важливі об'єкти. Другим кроком є передача пропозицій щодо регіонів до архітектури нейронної класифікації, як правило, алгоритму ієрархічного групування на основі RCNN або об'єднання регіонів інтересу (ROI) у Fast RCNN.

Одно етапне виявлення об'єктів – у зв'язку з необхідністю виявлення об'єктів у реальному часі з'явилися одно етапні архітектури виявлення об'єктів, такі як YOLO, SSD і RetinaNet. Вони поєднують етапи виявлення та класифікації шляхом регресії передбачень обмежувальної рамки. Кожна обмежувальна рамка представлена лише кількома координатами, що полегшує поєднання етапів виявлення та класифікації та прискорює обробку.

Семантична сегментація, також відома як сегментація об’єктів, подібна до виявлення об’єктів, за винятком того, що вона базується на конкретних пікселях, пов’язаних з об’єктом. Це дозволяє точніше визначати об’єкти зображення та не потребує обмежувальної рамки. Семантична сегментація зазвичай виконується за допомогою повністю згорткової мережі (FCN) або U-Net.

Одним із популярних способів використання семантичної сегментації є навчання автономних транспортних засобів. Використовуючи цей метод, дослідники можуть використовувати зображення вулиць або доріг з чітко визначеними межами об’єктів. Оцініть поставу

Оцінка пози — це метод, який використовується для визначення розташування суглобів на зображенні людини чи об’єкта та того, що вказує розташування цих суглобів. Його можна використовувати з 2D і 3D зображеннями. Основною архітектурою для оцінки пози є PoseNet, яка базується на CNN.

Оцінка пози використовується для визначення того, де частини тіла можуть з’явитися на зображенні, і може бути використана для створення реалістичних поз або рухів людської фігури. Ця функція часто використовується для доповненої реальності, віддзеркалення руху роботами або аналізу ходи.[4]

V. Висновки

У даному матеріалі було представлено класифікацію вибухонебезпечних об'єктів та їх візуальні ознаки. Було висвітлено важливість розпізнавання та ідентифікації таких об'єктів. Також, розглянуто автоматизовані методи ідентифікації, використовуючи сучасні технології комп'ютерного бачення та штучного інтелекту. Дані технології призначені для мобільних роботів-саперів для автоматизації процесу. Безумовно, подальші дослідження та розробки в цій області є вельми перспективними для підвищення безпеки та запобігання небажаним подіям.

Перелік посилань

[1] Класифікація вибухонебезпечних предметів / SearchGoogle. Текстові дані. – Режим доступу: https://sprotyvg7.com.ua/lesson/minna-bezpeka.

[2] Contextual Action Recognition with R*CNN / Georgia Gkioxari*, Ross Girshick*, Jitendra Malik* // SearchGoogle. Текстові дані. – Режим доступу: https://openaccess.thecvf.com/content_iccv_2015/papers/Gkioxari_Contextual_Action_Recognition_ICCV_2015_paper.pdf.

[3] Офіційний сайт та документація OpenCV / OpenCV team // SearchGoogle. Текстові дані. – Режим доступу: https://opencv.org/.

[4] Deep Learning Architectures for Computer Vision / Run:AI // SearchGoogle. Текстові дані. – Режим доступу: https://www.run.ai/guides/deep-learning-for-computer-vision.

Аналіз засобів дистанційного виявлення мінно-вибухових пристроїв

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

Аннотація: Під час воєн та інших збройних конфліктів протиборчі сторони часто встановлювали протитанкові та протипіхотні мінні поля. Для безпечного виявлення мін та інших вибухонебезпечних пристроїв і точного визначення їхнього місця розташування іноді потрібне спеціальне обладнання. У даній статті проведено аналіз проблеми виявлення та визначення точного місця розташування мін і вибухонебезпечних пристроїв на базі літальних апаратів та їхніх спеціальних засобах виявлення, що можуть бути використані для пошуку мін з повітря.

***Ключові слова*:** БПЛА, міни, мінно-вибухові пристрої, виявлення мінно-вибухових пристроїв

I. ВСТУП

В умовах сучасної війни та постконфліктного відновлення присутність наземних мін і вибухових пристроїв продовжує кидати тінь на спільноти по всьому світу. Ці приховані загрози становлять серйозну небезпеку не тільки для військовослужбовців, а й для цивільного населення, гальмують прогрес і перешкоджають розвитку постраждалих регіонів. Останніми роками технічний прогрес відкрив нову еру у розв'язанні конфліктів, коли безпілотні літальні апарати (БПЛА), стали безцінними союзниками в глобальній місії з виявлення та нейтралізації цих смертоносних пристроїв.

Ця аналітична стаття присвячена новаторській сфері безпілотних технологій. Обладнані високотехно-логічними датчиками та передовим штучним інтелектом, ці безпілотники є потужними інструментами, що створені рятувати життя людей. Завдяки здатності швидко долати величезні площі територій безпілотники зробили революцію в підходах до виявлення та знешкодження мін і вибухових пристроїв.

Завдяки поєднанню складних алгоритмів із передовими технологіями візуалізації, безпілотники не тільки визначають місце розташування мін, а й забезпечують точні, контрольовані методи знешко-дження, мінімізуючи супутній збиток і зберігаючи людські життя.

Завдання розробки/дослідження БПЛА з мінно пошуковим обладнанням:

1) Виявлення вибухових речовин за допомогою датчиків

2) Визначення точного місцезнаходження вибухових речовин, які неможливо побачити або виявити.

3) Досягнення універсальності безпілотника для роботи в різних умовах, а саме: у повітрі, над/під водою і на суші.

4) За можливості знешкодження вибухових речовин

З вищесказаного випливає, що дослідження і розробка безпілотних апаратів є актуальною на сьогоднішній день.

II. АНАЛІЗ ЗАСОБІВ ДИСТАНЦІЙНОГО ВИЯВЛЕННЯ МІННО-ВИБУХОВИХ ПРИСТРОЇВ

Наземні міни завдають величезної шкоди життю та здоров'ю людей і значною мірою перешкоджають гармонійному розвитку людського суспільства. За неповними статистичними даними, у післявоєнних районах досі налічується понад 110 млн. наземних мін. На сьогоднішній день розроблено безліч методів виявлення і видалення мін під час війни або післявоєнного відновлення. За основоположними принципами їх можна розділити на дві категорії. Одна використовує геофізичні відмінності між певними частинами мін і навколишнім середовищем, включно з георадаром, низькочастотною електромагнітною індукцією, металодетекторами, ультразвуковими приладами, інфрачервоною зйомкою та іншими комбінаціями методів виявлення. Інший напрямок має широкий спектр напрямків досліджень, заснованих на використанні конкретних методів, таких як акустика, біологічне зондування і молекулярне стеження [1].

В інтелектуальній системі знешкодження на базі шестироторного БПЛА було повністю враховано умови експлуатації та звички системи, завдяки чому вона має високу надійність, працездатність і повноту. Схема роботи системи показана на рис. 1. Спочатку оператор на наземній станції визначає зону обстеження НРБ. Наземна станція планує траєкторію польоту згідно з виділеною зоною і надсилає план на літаючу платформу для виконання запланованої траєкторії. У процесі польоту БПЛА за допомогою інтегрованої в БПЛА системи подвійного бачення отримує візуальну інформацію про зону патрулювання БПЛА в режимі реального часу. Наземна станція виявляє і розпізнає інформацію про зображення, допомагаючи визначити місце посадки боєприпасу, що не розірвався (НРБ), а потім оператор керує БПЛА для виконання подальших операцій, як-от захоплення і перенесення небезпечних предметів [2].

Звичайні літаки та гелікоптери, а також безпілотні літальні апарати – всі вони придатні для виявлення мін з повітря, а також вони можуть бути платформою для більшості пристроїв виявлення.

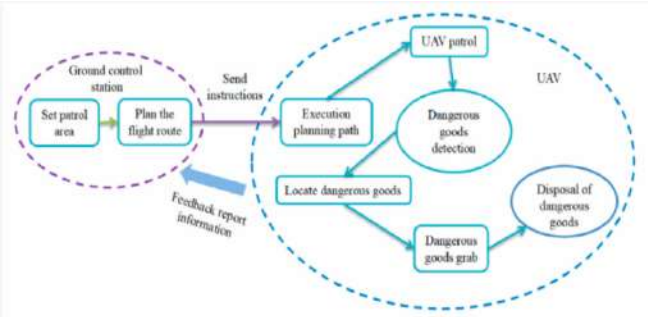


Рисунок 1 – Схема робочого процесу системи

Основними перевагами виявлення з повітря є безпека і час. Повітряні апарати не стикаються із землею під час дослідження, вони переміщуються на різних висотах, орієнтуючись на рельєф місцевості, тому безпосередній контакт із мінами та детонаторами неможливий. Повітряні апарати під час роботи рухаються швидше за наземні, вони можуть перевірити більшу площу за певний період часу і можуть переміщатися над найскладнішою місцевістю. Завдяки вбудованій системі глобального позиціонування (GPS) безпілотник миттєво передає правильні координати кожної виявленої міни на цифрову карту через бездротову систему зв'язку. систему зв'язку [3].

Найпоширенішим обладнанням для пошуку мін є металошукач у поєднанні з інфрачервоною камерою, встановленою на 6-роторному дроні (рис. 2). Під час пошуку безпілотник орієнтується на місцевості, постійно переміщаючись на 10 см від поверхні [3].

Відстань індукційного металодетектора від поверхні змінюється від 3,3 до 10,2 см при використанні телескопічної ніжки. Маса детекторів (металевого та ІЧ) становить лише 2,8 кг, а вантажопідйомність - 10 кг. Акумулятор ємністю 20000 мАг забезпечує 30 хвилин роботи. Дрон може літати на висоті до 15 м із максимальною швидкістю 50 км/год. Під час пошуку він рухається зі швидкістю 3,5 км/год і може керуватися вручну або працювати в автоматичному режимі [3].

Рисунок 2 – Гексакоптер з металошукачем та інфрачервоною камерою

Наступний безпілотник (рис. 3) являє собою октокоптер з вісьмома руками і одним ротором на кожній. Він може бути оснащений георадарами, що працюють на трьох різних частотах (90, 120 і 260 МГц), які сканують ґрунт на різній глибині. Маса безпілотника становить 14,1-14,8 кг залежно від типу георадара, час польоту - 15-20 хвилин, швидкість польоту - 2 м/с. Безпілотник одразу ж передає дані обстеження на процесор обробки даних, який відображає на моніторі шар ґрунту з точним розташуванням і глибиною залягання кожного об'єкта неправильної структури під поверхнею.

Рисунок 3 – Октокоптер з GPR

Безпілотники, як і міношукачі, перебувають у стадії прогресивного розвитку. У зв'язку з мініатюризацією незабаром міні-, мікро- і нано-безпілотники поширяться по всьому світу, проте їхньої обмеженої вантажопідйомності може не вистачити для доставки і роботи всіх вище описаних модулів. Іншим напрямком розвитку є збільшення доступної кількості енергії, що розширює діапазон роботи та збільшує час польоту (роботи) безпілотника. Використання сонячної енергії за допомогою сонячних батарей може бути хорошим рішенням, але частина дня і похмура погода обмежують доступну енергію. Іншим рішенням є використання нових сучасних батарей, наприклад літій-полімерних, які мають більший термін служби, ніж звичайні літієві або нікель-кадмієві батареї.

Подальший розвиток безпілотної техніки, ймовірно, полягатиме в розширенні сфери її застосування. У майбутньому безпілотники допомагатимуть не тільки в пошуку мін, а й у їхньому знищенні. Вони доставляють заряд вибухівки над виявленою міною, оператор бачить картинку з камери для правильного розміщення, після того, як безпілотник залишає небезпечну зону, заряд дистанційно детонує і міна знищується. В особливих умовах таким способом можна безпечно знищити навіть ціле мінне поле [3].

Система, яка зображена на рис. 4, складається з комерційного БПЛА Parrot AR Drone 2.0 і базової станції, яка забезпечує управління польотом і алгоритми виявлення мін. Управління польотом інтегровано з ROS, тоді як процес виявлення мін здійснюється набором алгоритмів, яким потрібне зображення, отримане нижньою камерою на борту дрона. На рис. 4 показано архітектуру виявлення мін.

Візуальний алгоритм складається з трьох етапів:

1) захоплення послідовності зображень,
2) фільтрація зображень
3) виявлення наземних мін.

Ці етапи також реалізовано в ROS і потребують використання бібліотеки OpenCV[4].

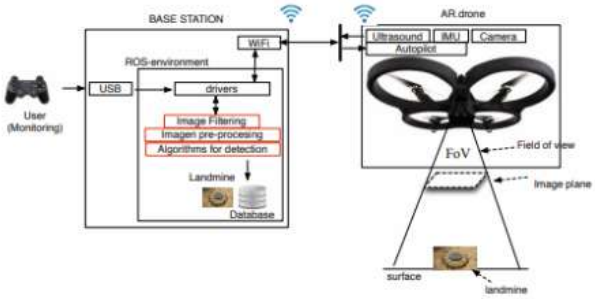


Рисунок 4 – Архітектура системи з виявлення мін

Деякі об'єкти були довільно розміщені на поверхні (повністю видимі), а інші – частково заглиблені. Тестування цієї системи складається з двох частин: по-перше, алгоритм виявлення 1 застосовується на різних висотах, і, по-друге, коли об'єкти частково заглиблені. Зазначено, що точність виявлення на висоті 3 м знижується через малу дальність огляду бортової нижньої QVGA-камери безпілотника з вертикальною частотою 60 кадрів на секунду (роздільна здатність 320x240). Загалом відсоток виявлення падає нижче 45% переважно через те, що розмір пікселя шуму менший за розмір пікселя цілі. Точність виявлення змінюється при зміні положення дрона щодо об'єкта, що згодом змінює кут нахилу оптичної осі. У всіх тестах відсоток виявлення був вищим за 80% під час польоту на висоті 1 м зі швидкістю 1 м/с [4].

Архітектура пропонованої інтегрованої системи представлена на рис. 5 є базовою станцією, яка дає змогу користувачеві налаштувати місію. У базовій станції реалізовано три основні функції:

1) налаштування користувацької місії та управління лог-файлами (GUI);

2) генерація траєкторії;

3) розрахунок геокарти місцевості за допомогою алгоритму зшивання зображень місцевості, отриманих дроном під час польоту.

Крім того, базова станція підтримує двонаправлений зв'язок із безпілотником за протоколом SSH. Як безпілотник використовується комерційний гексакоптер Asctec Firefly, вироблений компанією Ascending Technologies. Asctec Firefly оснащений процесором низького рівня (LLP), що відповідає за низькорівневе управління ротором, і процесором високого рівня (HLP), який відповідає за навігацію по шляхових точках. Обидва процесори з'єднані з головною платою, оснащеною процесором Intel Core i7.[5-10]

У переважній більшості використовуваних сьогодні георадарів для реалізації імпульсної радіолокації використовують стаціонарну радіоелектроніку, яка є підходом, що забезпечує корисну методику з простими робочими характеристиками, за якої передають імпульс у часовій області, а відбиту енергію аналізують як функцію часу. Результуюча форма хвилі показує амплітуду зворотно розсіяної енергії від підповерхневих структур, а інформація про дальність до об'єктів у надрах ґрунтується на принципі часу прольоту. Наразі основним недоліком комерційних георадарів є їхня фіксована апаратна реалізація, що зумовлює низьку адаптивність системи до потреб виявлення різних розмірів і типів мінних загороджень, за різних діелектричних характеристик місцевості. Крім того, висока ціна, габарити та маса обмежують можливість встановлення георадара на борту БПЛА [10-20].

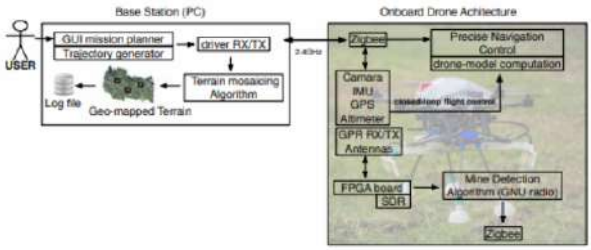


Рисунок 5 – Архітектура системи з виявлення мін

III. ВИСНОВКИ

Вище поданий аналіз готових рішень проблеми дистанційного виявлення та визначення точного місця розташування мін і вибухових пристроїв показав, що всі вище подані рішення є високотехнологічними, а отже дуже дорогими.

Отже, було б доцільніше використовувати простішу технологію переміщення, з приблизно схожою апаратною складовою, а саме мобільного робота на на базі мікропроцесора на повітряній подушці з відповідними модулями для виявлення мінно-вибухових пристроїв. Повітряна подушка дасть йому змогу левітувати над землею, отже робот матиме мінімальний контакт із поверхнею. Сам корпус може бути виготовлений з пластика на 3D-принтері. У підсумку даний підхід до вирішення проблеми є більш дешевим, але не менш ефективним.

REFERENCES

[1] Zhongze Qiu, Hangfu Guo, Jun Hu, Hejun Jiang, Chaopeng Luo (2023). Joint Fusion and Detection via Deep Learning in UAV-Borne Multispectral Sensing of Scatterable Landmine, 23(12), 1–22. https://www.mdpi.com/1424-8220/23/12/5693

[2] Jiwei Fan, Ruitao Lu, Xiaogang Yang, Fan Gao, Qingge Li, Jun Zeng (2021). Design and Implementation of Intelligent EOD System Based on Six-Rotor UAV, 5(4), 1–14. https://www.mdpi.com/2504-446X/5/4/146

[3] Kovac Z., Emmer I. (2022). Land ,ine detection with drones, 1(105), 1-9. https://www.researchgate.net/publication/359260271_Landmine_Detection_with_Drones

[4] Castiblanco C., Rodriguez J., Mondragon I., Parra I., Colorado J., (2014). Air Drones for Explosive Landmines Detection, 1-8. https://www.researchgate.net/publication/261471990_Air_Drones_for_Explosive_Landmines_Detection

[5] Colorado J., Perez M., Mondragon I., Mendez D., Parra C., Devia C., Martinez-Moritz J., Neira L., (2017). An Integrated Aerial System for Landmine Detection: SDR-based Ground Penetrating Radar onboard an Autonomous Drone, 31(12), 1-18. https://www.researchgate.net/publication/318842042_An_integrated_aerial_system_for_landmine_detection_SDR-based_Ground_Penetrating_Radar_onboard_an_autonomous_drone

[6] 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.

[7] 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.

[8] 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

[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] 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

[12] 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.

[13] 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.

[14] Vladyslav Yevsieiev, Nikolaj Starodubcev (2023). Development of a control algorithm for a small-sized mobile manipulation robot. Scientific Collection «InterConf», (140), P. 648-651.

[15] 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

[16] 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.

[17] 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.

[18] Viktoriia Bortnikova, Vladyslav Yevsieiev, Iryna Botsman, Igor Nevliudov, Kostiantyn Kolesnyk, Nazariy Jaworski. Queries classification using machine learning for implementation in intelligent manufacturing // Chapter 6 in Monograph «Methods and tools in CAD – selected issues». – Białystok (Poland): Publishing House of Bialystok University of Technology. – 2021. – PP. 63-74.

[19] Munteanu, Dan, Diana Moina, Cristina Gabriela Zamfir, Ștefan Mihai Petrea, Dragos Sebastian Cristea, and Nicoleta Munteanu. 2022. "Sea Mine Detection Framework Using YOLO, SSD and EfficientDet Deep Learning Models" Sensors 22, no. 23: 9536. https://doi.org/10.3390/s22239536

[20] Barnawi, A., Budhiraja, I., Kumar, K. et al. A comprehensive review on landmine detection using deep learning techniques in 5G environment: open issues and challenges. Neural Comput & Applic 34, 21657–21676 (2022). https://doi.org/10.1007/s00521-022-07819-9

Метод ранньої діагностики ниркових захворювань

Дмитро Кухаренко[1], Богдан Коваленко[1]
1. Навчально-науковий інститут електричної інженерії та інформаційних технологій,
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, УКРАЇНА,
Кременчук, вул. Першотравнева, 20. email: dkuch100@gmail.com

Анотація: Немає ні одного органу в тілі, у відношенні якого наші уявлення про функції так тісно залежали б від ознайомлення зі структурою, як у відношенні нирок.

Нирки є основним органом виділення (екскреції) кінцевих продуктів азотистого обміну, і органом, що охороняє сталість фізико-хімічних умов, осмотичного тиску і лужно-кислотної рівноваги в організмі. Ця основна роль нирок не може бути замінима ніякими іншими системами виділення. Випадання або різке порушення загальних функцій нирок у людини при деяких патологічних станах веде до смертельного результату в результаті уремії.

Нирки, виділяючи продукти обміну всіх органів і тканин пов'язані своєю експреторною роботою з усім організмом, але особливо виступає зв'язок нирок з основними органами ектраремального виділення: шлунково-кишковим трактом, печінкою, шкірою (потовими залозами) та органами дихання.
Ниркові захворювання – одні із найважчих серед усіх існуючих, адже в більшості випадків протікають без явних симптомів. Можуть призводити як до тимчасової, так і повної втрати працездатності.

Захворювання нирок можуть виникати ще з народження у вигляді патологій, а також можуть бути викликані багатьма причинами, серед яких: неправильний спосіб життя, перенесені тяжкі захворювання, або ті, що виникли внаслідок медикаментозного втручання. Набуті ниркові захворювання прийнято вважати характерними для людей похилого віку, але статистика показує, що за останні 10 років ниркові захворювання стали більш притаманні і для молодого населення. Відбувається це через ряд причин, серед яких недостатній рівень екологічного стану країни, невчасне лікування захворювань, які викликають ускладнення на нирки, неправильний спосіб життя: неправильне харчування, вживання надмірної кількості алкоголю, приймання наркотичних засобів та інше. Не останнє місце серед причин, що викликають ниркові захворювання, є і те, що відомі лікарям хвороби прогресують, і до їх дослідження та діагностики слід підходити з новими методиками.

Для діагностування хвороби та визначення діагнозу використовують різні інструментальні та лабораторні методи для досліджень. У зв'язку з тим, що ниркові хвороби стають все більш поширеними, дуже актуальним є удосконалення ранньої діагностики ниркових захворювань.

Ключові слова: нирки, метод діагностики, захворювання нирки, метод ранньої діагностики.

I. ВСТУП

Серед систем органів, що забезпечують збереження відносної сталості внутрішнього середовища, сечовидільна система відіграє найбільш важливу роль. Виведення з організму кінцевих продуктів обміну речовин, що бере на себе нирка (фільтрація, реабсорбція, активна секреція) виконується у вищій мірі спеціалізованими складовими елементами нирки – нефронами. Велика кількість нефронів, їх характерний перерозподіл у тканинах нирки, гетерогенна будова, надзвичайно велика та неповторна організація мікроциркуляторного русла, широкі шляхи венозного та лімфатичного дренажу, наявність спеціалізованого ендокринного апарату, що бере участь в регуляції гемодинаміки, різноманіття інтра-, та екстраренальних нервових зв'язків – це визначає складну морфологію нирки, як життєво важливого органу, що підтримує гомеостаз

До складу сечовидільної системи належать нирки, сечоводи, сечовий міхур і сечівник. Тут виділяють два функціонально незалежних відділи: сечоутворювальний, до складу якого входить кіркова та мозкова речовина нирки та сечовивідний, до складу якого входять ниркові чашечки, ниркові миски, сечоводи, сечовий міхур і сечівник.

Нирки – парний орган, в якому безперервно утворюється сеча. Це орган, який звільняє організм від кінцевих продуктів обміну та чужорідних речовин, регулює еритропоез, водно-сольовий обмін та осмотичний тиск крові, бере участь у підтримці кислотно-лужної рівноваги. Та виконує ендокринну функцію.

II. МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Незважаючи на широкий арсенал діагностичних заходів, що існують на сьогоднішній день в практичній медицині, відсоток помилок в діагностиці ниркових захворювань залишається високим. Багато практикуючих лікарів вказують на недостатню інформативність окремо взятого методу обстеження і відзначають підвищення інформативності комплексу діагностичних заходів.

В останні десятиліття дуже непогано себе зарекомендували і міцно увійшли в наше життя медичні експертні системи, що дозволяють об'єднати можливості спеціальної апаратури і комп'ютера зі знаннями і досвідом експертів в такій формі, що система може запропонувати розумну пораду. Подібні системи допомагають лікареві оперувати різними симптомами хвороби, даними аналізів і з тим або іншим ступенем ймовірності, ставити діагноз. Однак необхідно зазначити, що впровадження в медичну практику високоінформативних методів дослідження породило проблему аналізу величезного обсягу нової інформації про пацієнта. Одним з традиційних методів вирішення цього завдання є використання, так званої, ймовірнісної діагностики, або методу Байеса.

Вихідні дані (навчальна вибірка) представляються як упорядкований набір з P параметрів, тобто у вигляді матриці:

$$\begin{pmatrix} y^1, & t_1^1, & t_2^1, & \dots & t_P^1 \\ y^2, & t_1^2, & t_2^2, & \dots & t_P^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y^N, & t_1^N, & t_2^N, & \dots & t_P^N \end{pmatrix},$$

де y^i – номер одного з класів «Здоровий» - «Хворий» (наприклад, $y^i = 1$, якщо в рядку стоять параметри здорового пацієнта, і $y^i = 2$, якщо хворого), N – загальне

число спостережень, $i=1..N$. Нехай $\check{T}$ $(t^1, t^2, ..., t^N)^T$ – задана контрольна виборка, де $t^i = (t_1^i, t_2^i, ..., t_p^i)$ при $i=1...N$, $x = (x_1, x_2, ..., x_P)$ – нове спостереження, тобто вектор параметрів пацієнта, якого необхідно діагностувати (інакше, віднести до одного з маючихся класів і зарахувати йому відповідний номер 1 або 2). Тоді за H_j позначимо відповідну гіпотезу про приналежність нового спостереження x до j класу. Позначимо $f_j(...) = f(... \mid H_j)$ – щільністю розподілу ймовірностей вектора x, що належить j класу, $j = 1,2$. Вводячи апріорні ймовірності гіпотез π_j, які обчислюються як відношення числа спостереження N_j з j класу до загального числа спостережень N $(N = N_1 + N_2)$, розглянемо випадок байєсівського класифікатора, мінімізуючого ймовірність прийняття неправильного рішення з приводу приналежності нового спостереження до того чи іншого класу:

$$\gamma(x) = \frac{\pi_2 f_2(x)}{\pi_1 f_1(x)} \quad (1)$$

Якщо $\gamma(x) > 1$, то приймається гіпотеза H_2, якщо $\gamma(x) \leq 1$, то, відповідно, приймається гіпотеза H_1.

Основною проблемою, що виникає при використанні формули (1), є задача оцінювання невідомої багатовимірної щільності розподілу ймовірностей за результатами отриманих спостережень. Оскільки не можна зробити припущення про структуру даної багатовимірної щільності розподілу ймовірності, то застосовується непараметричний метод для її оцінювання. Даний метод грунтується на наближенні δ-образної послідовністю багатовимірної δ-функції Дірака з використанням формули ядерної оцінки щільності j класу Парзена –Розенблатта

$$f_b(x) = \frac{1}{N_j V(b)} \sum_{i=1}^{N_j} \left(\frac{\rho(x, t^i)}{b} \right), \quad (2)$$

де $K(z)$ – функція ядра, b – довільне позитивнее значення, що називається параметром згладжування, N_j – загальне число спостережень відповідного класу. Ядро має бути парною функцією і задовольняти умові нормування:

$$\int_R K(z)dz = 1.$$

В такому випадку:

$$\int_{R^P} f_b(x)dx = 1$$

при будь-якому b, тобто функцію $f(x)$ дійсно можна розглядати як щільність ймовірності. У формулі (2) $\rho(x, t^i)$ – функція відстані, задана в просторі R^p, і $V(b)$ – нормуючий множник, що забезпечує виконання (3).

Якщо різною є міра розкиду P параметрів, то зазвичай пропонується в якості параметрів згладжування розглядати мінімальну, середню або максимальну відстань від s параметру нового спостереження $x = (x_1, ..., x_P)$ до s параметру спостереження $t^i = (t_1^i, t_2^i, ..., t_P^i)$ з j класу. Однак на практиці частіше підбір відповідного параметра згладжування проводиться шляхом чисельного експерименту.

У даній роботі для оцінки щільності розподілу в (2) були використані різні параметри згладжування і ядра Гаусса, Вале – Пуссена і тригонометричне (3): Ядро Гаусса:

$$K(u) - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} exp\left(-\frac{u^2}{2}\right);$$

ядро Вале – Пуссена:

$$K(u) = \frac{1}{2\pi}\left(\frac{\sin(u/2)}{u/2}\right)^2;$$

тригонометричне ядро:

$$K(u) = \frac{1}{\pi}\left(\frac{\sin u}{u}\right)^2.$$

При тестуванні найкраща точність діагностики була отримана при $b=1$ з використанням ядра Гаусса, що склало 73,1%, для ядра Вале – Пуссена - 72,1% і для тригонометричного ядра – 53,8%. За результатами численних експериментів найкраща точність діагностики була отримана при виділенні саме 20-ти параметрів. Для P=20 отримали 77% вірно діагностованих захворювань, також при b=1 і ядрі Гаусса в якості параметрів оцінки щільності розподілу за формулою (2).

Проаналізувавши отримані дані, був розроблений алгоритм, що дозволив удосконалити ранню діагностику ниркових захворювань.

Комплекс розроблений таким чином, що при його проходженні пацієнту ставиться діагноз не тільки точніше, але й з більшим відсотком виявлення хвороби. Пацієнт проходить чотири методи діагностики (аналіз сечі, неінвазивний аналіз крові, ультразвукове дослідження (УЗД та урографію), з яких результати обстежень надходять до блоку обробка результатів через інтерфейс, лікар дізнається діагноз з результатів обстеження, і потім виводиться діагноз на монітор комп'ютера, і заноситься на зовнішній накопичувач де і зберігається протягом певного часу. Таким чином зменшується ризик впливу людського фактору на визначення діагнозу, а також зменшується час очікування встановлення діагнозу.

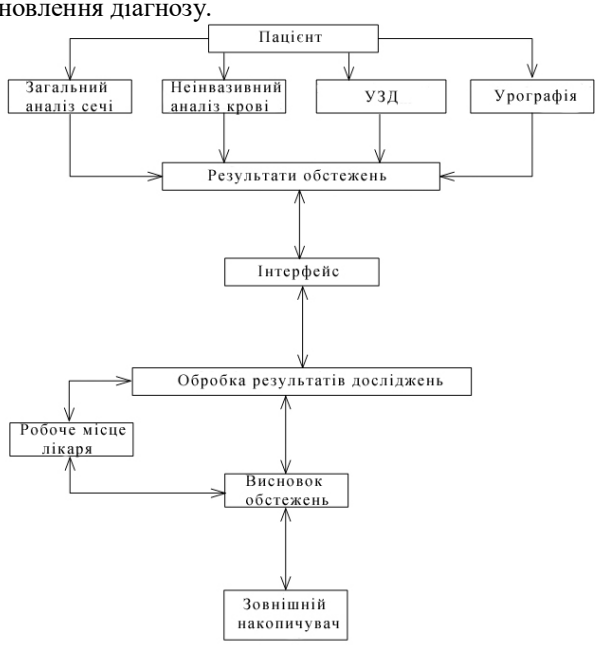


Рисунок 1 – Блок-схема взаємодії пацієнта, комплексу обстеження та лікаря [1]

Також цей комплекс дає більш повну картину захворювання пацієнта, адже окремо у цих методів, не дивлячись на усі плюси, є і ряд недоліків. Так, наприклад, ні аналіз сечі, ні неінвазивній аналіз крові не здатні показати візуальне зображення органа, що діагностується, уся увага зосереджена лише на хімико-біологічних показниках

В той же час ультразвукова діагностика, або урографія (метод з використанням контрастної речовини) показують лише візуальну сторону ураженого органа, втрачаючи при цьому внутрішні показники органа.

Саме компоновка цих чотирьох методів може дати найбільш повну та вичерпну інформацію щодо захворювання пацієнта та його подальшого лікування, що назначає лікар. Все, що необхідно для впровадження цього комплексу ранньої діагностики ниркових захворювань – це персональний комп'ютер на місці лікаря і зовнішній накопичувач, де за необхідності, можна зберігати усю необхідну інформацію щодо захворювання того чи іншого пацієнта. Експерементально було встановлено, що необхідно використати 20 параметрів для кожного з методів діагностики. Це дозволило сконцентрувати усю увагу саме на ниркових захворювань, відсікаючи ті, що могли б вказувати на захворювання інших органів. Так для аналізу сечі були обрані наступні параметри: реакція Ph (кисла, лужна, або нормальна), наявність у сечі білка, показник епітелію, показник лейкоцитів, показник еритроцитів, наявність у сечі циліндрів, наявність у сечі слизу, солі або бактерій.

Для неінвазивного аналізу крові було обрано такі параметри: активність ферментів (порушена чи у знаходиться у нормі), рівень гемоглобіну, рівень швидкості осідання еритроцитів (ШОЕ), показник тромбоцитів та показник лейкоцитів. Для ультразвукового дослідження обрано: розміри нирок (товщина, ширина та товщина), товщина паренхіми та пустота ниркової балії. Для урогрфії було обрано такі параметри: структура нирок (іх поверхні та внутрішнього шару), та наявність або переміщення конкрементів, пухлин або інший інородних включень. Виключені з використанних параметрів були розміри нирок, адже вони вже вказуються у ультразвуковому дослідженні. На основі стандартних показників норми цих параметрів було створено алгоритм ранньої діагностики ниркових захворювань (рис. 3.2), згідно якого пацієнту після проходження всіх чотирьох етапів видається результат обстежень, який може бути використаний лікарем для встановлення точного діагнозу та подальшого лікування хворого. Усі дані можуть зберігатися в електронному вигляді на будь-якому носієві інформації, це може слугувати своєрідною медичною карткою для подальшої профілактики захворювань.

Відповідно до алгоритму роботи був програмно змодельований комплекс, в програмі LabVIEW [2,3]. Створено інтуїтивно зрозумілий робочий стіл програми де вносяться усі необхідні показники, що відповідають за певні функції у нирках, та можуть свідчити про те чи інше захворювання (рис. 3.3).

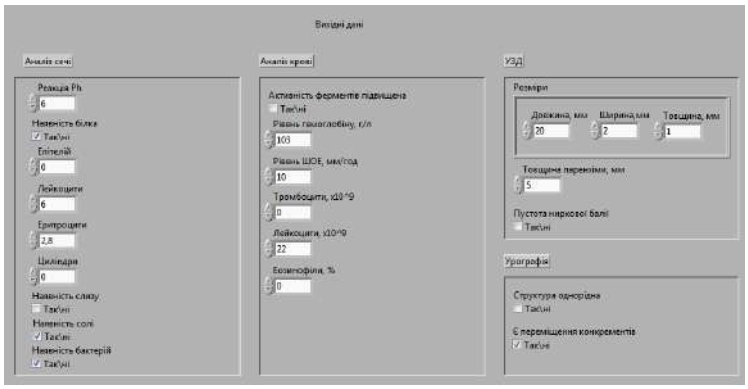


Рисунок 2 – Панель занесення даних діагностики

Після того як результати були занесені в програму видається висновок обстеження стосовно хвороби.

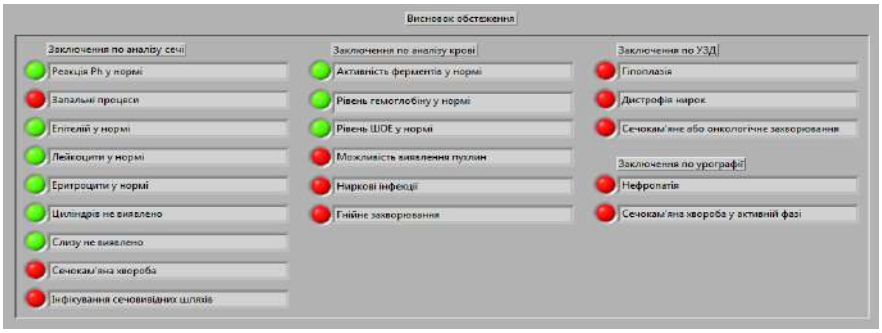


Рисунок 3 – Екран виведення заключення по наявним ознакам хвороби

Запропонований змодельований комплекс таким чином, щоб відтворити алгоритм роботи, який дозволяє ввести дані, і за результатом даних проведеної діагностики отримати заключення стосовно хвороби. Це відтворено в програмі яка дозволяє діагностувати хворобу значно швидше, та обрати актуальний шлях лікування.

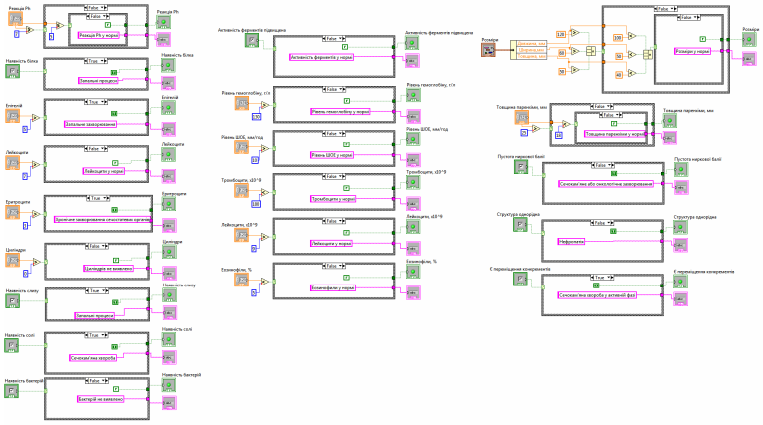


Рисунок 4 – Схема відтворення алгоритму роботи в програмі LabVIEW

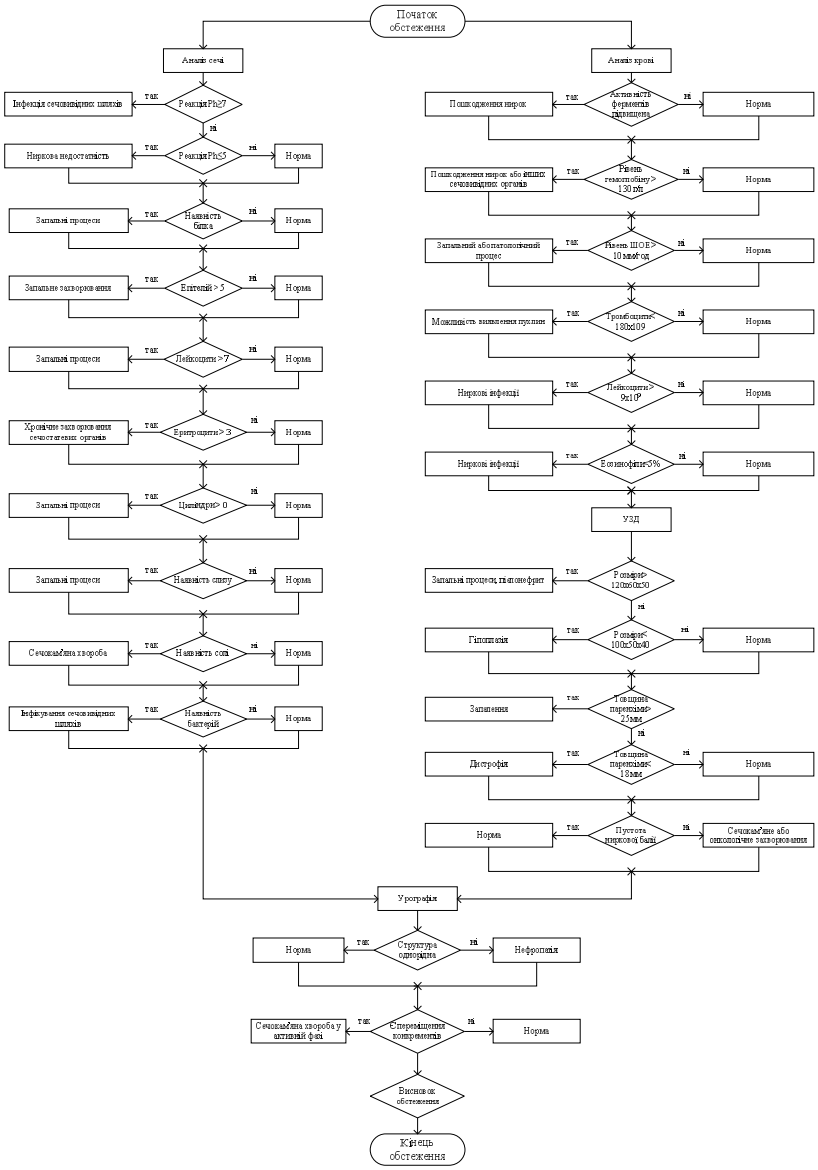


Рисунок 5 – Алгоритм роботи комплексу ранньої діагностики ниркових захворювань

III. ВИСНОВКИ

Запропоновано єдиний метод для діагностики ниркових захворювань, що включає в себе чотири методи, таких як аналіз сечі, неінвазивний аналіз крові, ультразвукове дослідження та урографія. Даний метод підвищує рівень виявлення хвороб нирок, а також дозволяє більш точно поставити діагноз хворому.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

[1] Вадурін К.О., Перекрест А.Л., Кухаренко Д.В. Структура інформаційної системи обробки даних отриманих від біометричного комплексу для моніторингу, прогнозування та підтримки прийняття рішень людини-оператора. XIV Міжнародна науково-практична конференція «Комп'ютерні системи та мережні технології», 13-14 квітня 2023 р., м. Київ. С. 31–33.

[2]Перекрест А., Юрко О., Мосьпан Д., Кухаренко Д., Вадурін К. Комп'ютеризований практикум з моделювання фізичних процесів. Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, Кременчук: КрНУ, 2022. Випуск 6(137). С. 29–35.

[3] A. Perekrest, D. Kukharenko, M. Kushch-Zhyrko and K. Vadurin, «Software and Hardware Solution of a Complex Tumor Visualization System for Use in a Medical Institution of an Industrial Enterprise,» 2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES), Kremenchuk, Ukraine, 2022, pp. 1-6, DOI: https://doi.org/10.1109/MEES58014.2022.10005779.

[4] 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.

[5] 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

[6] 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.

[7] 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.

[8] 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.

[9] 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.

[10] 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

[11] 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

[12] Viktoriia Bortnikova, Vladyslav Yevsieiev, Iryna Botsman, Igor Nevliudov, Kostiantyn Kolesnyk, Nazariy Jaworski. Queries classification using machine learning for implementation in intelligent manufacturing // Chapter 6 in Monograph «Methods and tools in CAD – selected issues». – Białystok (Poland): Publishing House of Bialystok University of Technology. – 2021. – PP. 63-74.

[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] Vladyslav Yevsieiev, Nikolaj Starodubcev (2023). Development of a control algorithm for a small-sized mobile manipulation robot. Scientific Collection «InterConf», (140), P. 648-651.

[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] Yevsieiev, V. ., Maksymova, S. ., & Starodubcev, N. . (2022). A ROBOTIC PROSTHETIC A CONTROL SYSTEM AND A STRUCTURAL DIAGRAM DEVELOPMENT. Collection of Scientific Papers «ΛΌΓΟΣ», (August 12, 2022; Zurich, Switzerland), 113–114. https://doi.org/10.36074/logos-12.08.2022.33

[17] 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

Програмна реалізація системи керування лабораторним блоком живлення

Олексій Юрко[1], Дмитро Кухаренко[1], Михайло Довбня[1], Миколо Мешков[1]
1. Навчально-науковий інститут електричної інженерії та інформаційних технологій,
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, УКРАЇНА,
Кременчук, вул. Першотравнева, 20. email: dkuch100@gmail.com

Анотація: На сьогоднішній день неможливо уявити науковий заклад, сервісний центр, лабораторію, лікарню без застосування в них лабораторного блоку живлення. Донедавна стандартним для імпульсних джерел живлення було аналогове керування, але цифрове керування дозволяє оптимізувати операцію керування, підвищити ККД, забезпечити лінійність регулювання струму навантаження.

При розробці регульованих джерел електроживлення за відсутності високочастотного перетворювача відома проблема, коли при мінімальній вихідній напрузі та великому струмі навантаження на регулювальному елементі (стабілізатор) розсіюється велика потужність. Один із шляхів вирішення цієї проблеми – зробити кілька відводів у вторинній обвитці силового трансформатора та розбити діапазон регулювання вихідної напруги на піддіапазони.

Такий принцип використаний у багатьох серійних джерелах живлення, однак такий шлях ускладнює і саме джерело живлення і ставить під сумнів можливість керування таким пристроєм від системи верхнього рівня. Одним із раціональних рішень у цій ситуації є застосування транзисторних високочастотних перетворювачів У цьому випадку є можливість розробки джерела живлення, керованого одним задатчиком вихідної напруги у вигляді потенціометра або одним керуючим сигналом, наприклад, від комп'ютера.

Метою роботи є розроблення системи керування лабораторним джерелом живлення і розкриття переваг цифрового керування джерелом живлення перед застарілим аналоговим.

Ключові слова: система керування, блок живлення, програмна реалізація, програмне забезпечення.

I. ВСТУП

Також лабораторні блоки живлення використовуються як аналог стабілізатора напруги для медичного обладнання. При цьому він має перевагу перед стабілізаторами, оскільки видає не відсотки, а фіксований напруга, що буває важливо при скачках напруги. Тобто, при будь-якому вхідному напрузі він дає на виході заданий необхідне значення напруги.

Основні характеристики блоків живлення можна дізнатися виходячи з назви моделі. Цей міжнародний стандарт найменування зроблений спеціально для уникнення плутанини і підтримується всіма зарубіжними виробниками.

Перші дві букви в назві (їх може і не бути) позначають код виробника. Далі - чотири (рідше три або п'ять) цифр позначають максимальне видається напруга (перші дві цифри) і максимальний вихідний струм (останні дві цифри). До них, через рисочку, може бути додана цифра, що означає кількість каналів.

Наприклад, YIHUA 1502DD, EXtools PS-1502D, HYelec HY1502D позначає блок живлення, що видає максимальне напруження 15В, і максимальний струм до 2А.

електроенергії та частоті вхідної напруги.

Залежно від принципу дії і кількості пристроїв, що підключаються, лабораторні БП діляться на лінійні і імпульсні, а також одноканальні і багатоканальні, відповідно. Крім того, вони розрізняються за параметрами стабілізації (струму або напруги), формі напруги: постійному або змінному, типу діапазону, максимальному току і напрузі, потужності, по типу настройки видається напруги і струму, по виду ізоляції і по індикації.

Лінійні (також звані «трансформаторними») засновані на низькочастотному трансформаторі, що знижує вхідна змінна напруга 220В з частотою 50 Гц до десятків Вольт з тією ж частотою 50 Гц. Потім змінну напругу випрямляється і згладжується конденсаторами. Після чого знижується транзисторним стабілізатором до необхідного заданого рівня. Перевага такого типу пристроїв - простота і надійність конструкції, відсутність високочастотних пульсацій, а також низька вартість ремонту і запчастин. Однак у лінійних БП є і зворотна сторона - низький ККД (до 60%), пов'язаний з тим, що все зайве напруга перетвориться в тепло. На транзисторному стабілізаторі буде розсіюватися в 4 рази більше потужності, ніж надходити на навантаження. Через це вони досить громіздкі і важкі. Наприклад, сучасні моделі, що забезпечують роботу з навантаженням до 200 Вт, важать від 5 до 10 кг. Також, з часом, відбувається усихання згладжують конденсаторів, через що на виході утворюються провали напруги. Додатково до цього не виключено попадання високочастотних шумів. Тому, якщо потрібно найбільш чисте вихідна напруга, слід використовувати хороший мережевий фільтр, встановлений перед лінійним ЛБП.

Імпульсні лабораторні блоки живлення функціонують за допомогою заряду імпульсами струму згладжують конденсаторів. У них вхідна змінна напруга вирівнюється і отриманий постійний струм, у вигляді малих імпульсів збільшеною частоти, надходить на фільтри конденсаторів. Після цього завдяки инвертору відбувається перетворення постійного струму в змінний. А потім напруга згладжується фільтром. Ну а регулювання вихідної напруги, як правило, здійснюється за допомогою зміни спеціальним контролером широтно-імпульсної модуляції (ШІМ).

Для перетворення струму використовуються невеликі трансформатори, тому імпульсні БЖ досить компактні, мають невелику вагу. ККД імпульсних блоків - 80, а іноді і 90%. До переваг можна віднести високий коефіцієнт стабілізації і більш висока, в порівнянні з лінійними блоками харчування, вихідна потужність, а також відсутність чутливості до якості

II. МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Головні недоліки імпульсних блоків живлення - складність конструкції [1], що впливає на надійність, і наявність високочастотної пульсації (навіть з урахуванням фільтрації): при цьому рівень пульсацій залежить від навантаження - чим вона вища, тим більше амплітуда пульсацій. Крім того, він дає радіочастотні наведення. Так що вони не дозволяють працювати з деякими типами пристроїв.

Рисунок 1 – Сучасні лабораторні блоки живлення

Як бачимо, в обох типів лабораторних блоків живлення є як переваги, так і недоліки. Тому вибір оптимального типу пристрою залежить від необхідних якостей. Якщо Вам потрібен ЛБП, що володіє хорошою надійністю і відсутністю радіоперешкод, варто вибрати лінійний (трансформаторний). Якщо ж є необхідність у великій потужності і зручною транспортабельности - підійде імпульсний.

Також тип потрібного БП визначається навантаженням по току. Так, для приладів, які споживають до 5А підходять лінійні блоки живлення. Для пристроїв, що працюють на струмі понад 5А - імпульсні БЖ. Справа в тому, що всі потужні лабораторні блоки живлення, що дають великий струм, - імпульсні.

Сучасні лабораторні блоки живлення (рис.1) можуть застосовуватися як для одного, так і для одночасного використання декількох приладів. Це визначається кількістю вихідних каналів. Тому вони діляться на одно- і багатоканальні.

Більшість нових моделей лабораторних блоків живлення мають тільки один вихідний канал. Рідше використовуються двох і трьохканальний пристрою.

Варто відзначити, що багатоканальні блоки живлення дозволяють видавати регульоване напруга і струм різних значень. Тобто, параметри вихідної напруги задаються окремо. Погодьтеся, це дуже зручно, якщо потрібно працювати з різними типами пристроїв, що підключаються. Правда, в трьохканальний блоках харчування третій канал нерегульований (на 5В).

Найбільш дешевими і поширеними є одноканальні блоки живлення. Їх досить для перевірки або підключення одного приладу. Два каналу виведення підійдуть якщо потрібно живити дві ділянки схеми різними напругами або одночасно протестувати два пристрої. Трьохканальний, що мають один фіксований на 5В (як найбільш поширене мала напруга) і два регульованих каналу, знаходять застосування для підключення до складних приладів. Наприклад, це може використовуватися для харчування медичного обладнання з роздільним живленням датчика, блоку первинної обробки даних і схеми точної обробки і відображення параметрів. При наявності гальванічної розв'язки між каналами такі ЛБП здатні видавати напруги і струми, помітно різняться з сусідніми каналами.

Оскільки всі БП великої потужності (більше 500 Вт) мають тільки один канал, може здатися очевидним, що при необхідності, можливо підключити кілька БП. Однак таке рішення не дозволить забезпечити синхронне включення / вимикання і регулювання блоків живлення і спровокує підвищення високочастотної пульсації. Крім того, не виключений ризик пошкодження БП через пробою ізоляції.

Основними властивостями лабораторних БП є регульована видача стабілізованої напруги (CV) та струму (CC). При використанні лабораторного блоку живлення в режимі видачі стабілізованої напруги, формується заданий напруга навіть при змінюються токах навантаження. У режимі стабілізації струму блок живлення повинен подавати заданий струм навіть при змінному опорі навантаження.

Режим стабілізації вихідного струму, як правило, присутня на всіх одноканальних блоках харчування якісних брендів (Mastech, AXIOMET, HYelec). І зрідка, як виняток, в дорогих багатоканальних моделях.

Режим стабілізації вихідного струму відсутня в дешевих одноканальних і в більшості багатоканальних (незалежно від бренду) блоках харчування. Замість цього вони мають «захист від перевантаження і короткого замикання».

Ще однією з характеристик є форма напруги і струму на виході. Залежно від конкретної моделі, ЛБП можуть бути розраховані як на видачу постійного струму і напруги, так і на змінні напруга / струм.

Як правило, лабораторні БП видають постійна напруга і струм. Однак для тестування електронних приладів може знадобитися зміна вихідної напруги за певним заданим алгоритмом. Для цього в деяких моделях блоків живлення є «Режим зміненого вихідного напруги за списком заданих значень». З його допомогою можна створити програму, що складається з послідовних кроків, кожен з яких має певну напругу і тривалість. Завдяки існуванню такого режиму можливо проводити тестування обладнання і пристроїв на скачки напруги,

наростання і спад напруги, втрату напруги. Якщо ж має значення імітація навантажень в побутової електричної мережі 220 В, варто звернути увагу на БП, що видають змінне напруга. Причому деякі моделі формують трифазне напругу з вимірюванням зсуву кутів фаз.

Діапазон лабораторних блоків живлення по вихідній напрузі і току буває двох видів: фіксованим і автоматичним. Фіксований діапазон мають багато бюджетні ЛБП. Вони дозволяють вибрати будь-яку комбінацію струму і напруги в максимальних значеннях. Так, одноканальний ЛБП з найбільшим напругою 30В і силою струму 5А здатний підтримати даний струм при такому напруженні. Однак підвищити межі як струму, так і напруги, на такому пристрої неможлива. При цьому підтримувана потужність складе 30В х 5А = 150Вт.

Автоматичний діапазон характеризується можливістю вибору будь-якої комбінації напруги і струму, навіть перевищуючи їх максимальні значення, в межах максимальної потужності.

БП володіють різним подається напругою і струмом. Поширені діапазони постійної напруги такі: 0 - 15В, 0 - 30В, 0 - 60В. Діапазони по току: 0 - 2А / 3А, 0 - 5А, 0 - 10А, 0 - 20А, 0 - 30А.

Такий важливий фактор при виборі БП - потужність пристрою, що видається в навантаження. Так, ЛБП постійного струму діляться на стандартні і потужні. Перші підтримують навантаження до Потужність 700 Вт. Другі - більше Потужність 700 Вт. БП стандартної потужності мають вагу до 15 кг. Надпотужні пристрої до 3 кВт існують як в переобраним, так і в стоєчном варіанті. Більш потужні (від 3 кВт) - тільки в промисловому стоєчном виконанні. Оскільки універсальних лабораторних блоків живлення не існує, при виборі слід спиратися на потужність під конкретну задачу.

По виду настройки лабораторні блоки живлення бувають ручні і програмні. Ручні налаштовуються безпосередньо на самому ЛБП за допомогою рукояток-крутилок або кнопок. Програмна настройка проводиться не на приладі, а на комп'ютері. Тому нею можливо управляти віддалено. Вона може бути виконана у вигляді готової спеціальної програми, що поставляється разом з ЛБП, так і у вигляді власної створеної програми. Необхідність програмування може виникнути в разі включення ЛБП до складу вимірювального комплексу або застосування надпотужних ЛБП.

Деякі моделі мають комбінованим керуванням, яке можна здійснювати як з корпусу ЛБП, так і з комп'ютера. Для цього передбачена можливість підключення до ПК.

Основними відображеними параметрами є вольтметр і амперметр. Їх індикація буває стрілочної і цифровий. Стрілочні індикатори представлені у вигляді аналогової шкали зі стрілкою. Вони більш чутливі до перепадів напруги і струму, але менш інформативні, оскільки точність вимірювання залежить від поділок шкали і по ним неможливо визначити десяті й тисячні значення (наприклад, 0.2 А чи 0.05А).

Цифрові відображають електричні параметри на LCD дисплеї. Вони дозволяють показувати десяті й тисячні частки вимірів. Такі дисплеї трьох і чотирьох розрядні.

Є моделі ЛБП, що мають цифрове відображення вольтметра і стрілочне - для амперметра.

Гальванічна ізоляція БП дозволяє ізолювати напругу і струм між різними каналами і мережею живлення. Вона захищає від пробою напругою вище 220В і замиканням на землю. Це досягається за допомогою наявності окремих обмоток трансформатора для кожного з каналів.

Наявність гальванічної захисту обов'язково для застосування ЛБП при підключенні пристроїв, що мають аналогову і цифрову частину або ізольовані частини.

Для забезпечення безпечної роботи і збереження як самого ЛБП, так і підключеного до нього обладнання, передбачені захисні функції, представлені у вигляді захисту від струмового перевантаження, перенапруги, перевантаження по потужності, перегріву. Реалізація захисних функцій різноманітна. Наприклад, при перевищенні заданого струму, в разі короткого замикання, може відключити навантаження, обмежити струм на виході або переключитися на режим стабілізації вихідного струму.

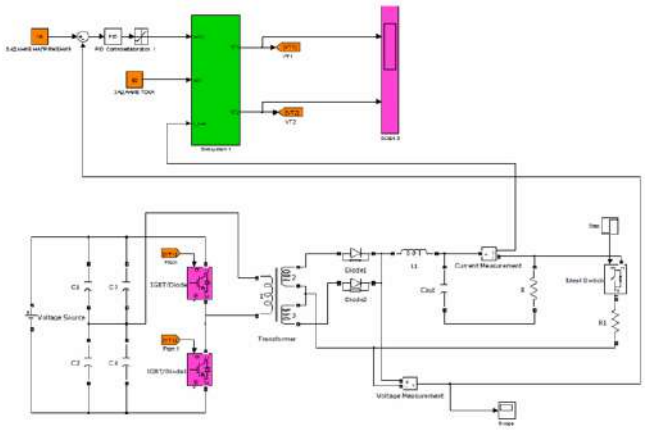


Рисунок 2 – Модель джерела живлення в Simulink

На рисунку 2 представлена імітаційна модель джерела живлення, яка виконана в системі Matlab- Simulink (MATLAB).

У верхній частині моделі представлена частина, що відноситься до системи керування. Завдання по вихідній напрузі порівнюється з виміряним значенням. Далі результат порівняння потрапляє на ПІД регулятор, на виході якого розташований блок насичення. Блок насичення відсікає всі величини, які менші 0.05. Це необхідно в силу того, що важливо враховувати час комутації транзисторів верхнього і нижнього плеча, тому коефіцієнт заповнення не повинен перевищувати величини 0.95.

На рисунку 3 запропоноване програмне забезпечення для керування лабораторним блоком живлення в Delphi11, а розроблений макет представлений на рисунку 4. Графік залежність корисної потужності від температури нагрівання пристрою показує, що запропонована конструкція має вдалу будову (рис.5).

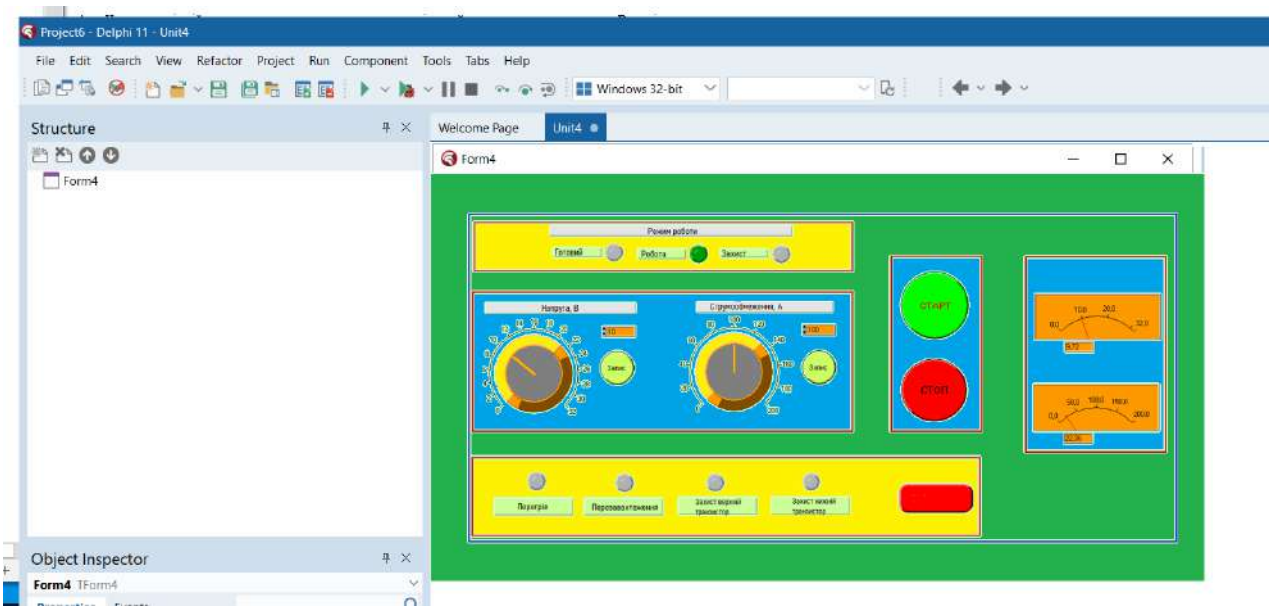


Рисунок 3 – Програмне забезпечення для керування лабораторним блоком живлення в Delphi11

Рисунок 4 – Запропонований лабораторний блок живлення

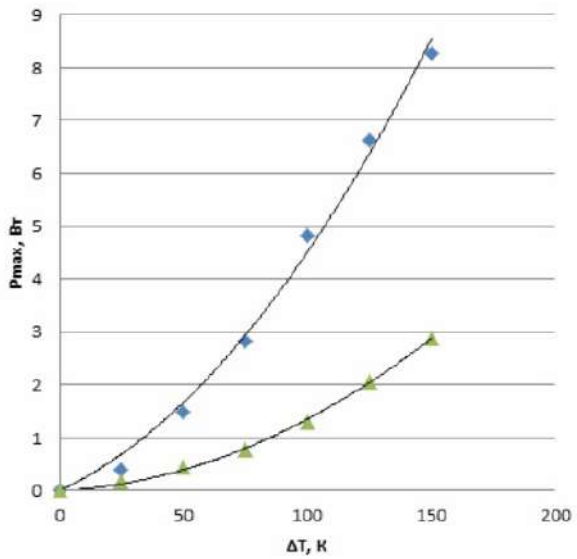


Рисунок 5 – Залежність корисної потужності від температури нагрівання

III. ВИСНОВКИ

Зважаючи на необхідність обов'язкової гальванічної розв'язки між вхідною частиною перетворювача і його виходом,а також необхідності установки на вході ємнісного фільтра, що знижує вплив коливань напруги на вході перетворювача, для розроблюваної керування лабораторним блоком живлення обрано напівмостовий перетворювач з ємнісним дільником вхідної напруги, який дозволяє використовувати тільки одну первинну обвитку трансформатора і дві вторинні.

Для розроблюваної комп’ютерно-інтегрованої системи керування лабораторним джерелом живлення на основі проведених розрахунків аргументований вибір силових транзисторів, імпульсного трансформатора, вихідного LC фільтра, ємності дільника напруги, вихідного конденсатора, датчиків керуючої частини, вхідної напруги, вхідного струму, струму навантаження та датчика температури, що відповідає основним вимогам доступності обладнання та його невисокої вартості.

На основі запропонованої електричної принципіальної схеми керування перетворювачем, за допомогою середовища LabVIEW розроблений віртуальний прилад, який дозволяє керувати вихідною напругою лабораторного блоку живлення в діапазоні 0...32В, задавати величину струмообмеження в діапазоні 0...150А, а також відображати його параметри. Особливістю даної системи є можливість роботи як по інтерфейсу USB, так і по інтерфейсу RS-485, що дозволяє включати його до складу промислових мереж.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

[1] Кухаренко Д.В., Фомовський Ф.В., Гладкий В. В., Саньков С. В. МЕТОД ДІАГНОСТИКИ СКЛАДНИХ ЕЛЕКТРОННИХ СХЕМ З

ВИКОРИСТАННЯМ СИГНАТУРНОГО АНАЛІЗУ. Вісник Кременчуцького Національного університету імені Михайла Остроградського. Випуск 3/2020 (122), Кременчук: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, 2020. – С. 133–138.

[2] Невлюдов І.Ш. Автоматизована система керування технологічними процесами в SCADA системі TRACE MODE 6: Навчальний посібник / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, В.В. Євсєєв, С.С. Максимова, М.Г. Стародубцев, В.В.Невлюдова. Кривий Ріг: Криворізький коледж НАУ, 2018. 320 с.

[3] 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.

[4] 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.

[5] 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

[6] 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.

[7] 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.

[8] 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.

[9] 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.

[10] 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

[11] 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

[12] Viktoriia Bortnikova, Vladyslav Yevsieiev, Iryna Botsman, Igor Nevliudov, Kostiantyn Kolesnyk, Nazariy Jaworski. Queries classification using machine learning for implementation in intelligent manufacturing // Chapter 6 in Monograph «Methods and tools in CAD – selected issues». – Białystok (Poland): Publishing House of Bialystok University of Technology. – 2021. – PP. 63-74.

[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] Vladyslav Yevsieiev, Nikolaj Starodubcev (2023). Development of a control algorithm for a small-sized mobile manipulation robot. Scientific Collection «InterConf», (140), P. 648-651.

[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] Yevsieiev, V. ., Maksymova, S. ., & Starodubcev, N. . (2022). A ROBOTIC PROSTHETIC A CONTROL SYSTEM AND A STRUCTURAL DIAGRAM DEVELOPMENT. Collection of Scientific Papers «ΛΌΓΟΣ», (August 12, 2022; Zurich, Switzerland), 113–114. https://doi.org/10.36074/logos-12.08.2022.33

[17] 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

[18] Yevsieiev V., Bronnikov A. Analysis of the cyber-physical production systems implementation impact to achieve the goals of lean production. The IIth International scientific and practical conference «Development of scientific and practical approaches in the era of globalization» (USA, Boston, 28–30 September. 2020). P.221–226. DOI:10.46299/ISG.2020.II.II.

[19] Nevliudov I., Omarov M., Yevsieiev V., Bronnikov A., Lyashenko V. Method of Algorithms for Cyber-Physical Production Systems Functioning Synthesis // International Journal of Emerging Trends in Engineering Research. – 2020. – Vol. 8(10). – P. 7465-7473.

[20] Yevsieiev, V. V., & Bronnikov, A. I. (2020). Development of databases interconnection “essences” information model for cyber-physical production systems additive cyber design creation automation. Збірник Наукових Праць НУК, №3. С.56-62. DOI https://doi.org/10.15589/znp2020.3(481).7

Моделювання процесу розмінування українських територій за допомогою роботизованих комплексів

Дмитро Кухаренко[1], Роман Косюта[1]
1. Навчально-науковий інститут електричної інженерії та інформаційних технологій,
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, УКРАЇНА,
Кременчук, вул. Першотравнева, 20. email: dkuch100@gmail.com

Анотація: На сьогоднішній день в складних для України умовах воєнного стану, важливим є збереження життя та здоров'я громадян, які повертаються на території, що знаходилися в тимчасовій окупації. Велику загрозу представляють вибухонебезпечні об'єкти воєнного призначення.
В реаліях сьогодення населення України все частіше зустрічається з необхідністю ретельного дотримання певних правил техніки безпеки стосовно багатьох об'єктів: промислові об'єкти, піротехніка, побутова хімія, енергоносії тощо. На перший погляд прості речі можуть стати дуже небезпечними для життя та здоров'я. До таких речей можна віднести потенційно вибухонебезпечні об'єкти.

Більшість об'єктів не потребують спеціальних знань для ідентифікації, оскільки мають спеціальні наліпки, надписи та маркування, які ідентифікують об'єкт як вибухонебезпечний. Однак, існують вибухонебезпечні об'єкти, які не мають спеціальних позначень, можуть бути спеціально приховані так, щоб завдати більшої шкоди життю та здоров'ю людини, яка їх знайде. Це – вибухонебезпечні об'єкти воєнного призначення. Тому, проблема виявлення потенційно вибухонебезпечних об'єктів на відкритій місцевості, особливо там, де проходили найзапекліші бойові дії є актуальною задачею.

Мета роботи – створення надійної системи для пошуку та ідентифікації вибухонебезпечних предметів, розробити модель, яка буде більш ефективна та простіша в використанні ніж вже існуючі аналоги.

Ключові слова: робот, роботизований комплекс, мобільний робот, моделювання розмінування.

I. ВСТУП

Процес виявлення вибухонебезпечних об'єктів є дуже важливою частиною розмінування, але це дуже небезпечно для спеціаліста, що здійснює пошук.

Таблиця 1 – Результати робіт ДСНС у областях України з розмінування

Область	Обстежено територій		Знешкоджено ВНП		Кількість залучень	
	За добу	З початку робіт	За добу	З початку робіт	За добу	З початку робіт
Донецька	3,64	1260,96	114	24197	18	2784
Київська	2,86	21628,05	173	73823	10	6926
Харківська	1,17	1845,21	290	50127	54	12327
Черкаська	0,01	7411,53	1	38890	1	1071
Чернігівська	1,21	39544,44	77	48616	5	4221
Херсонська	90,79	510,86	204	5574	32	725
Сумська	0,6	1133,8	6	7504	12	1554
Запорізька	0	140,54	0	2813	0	781

Забруднення території України мінами і боєприпасами, що не розірвалися, в ході повномасштабного вторгнення Росії в Україну на середину серпня 2022 року торкнулося території в 300 тисяч км² – майже половину країни. За оцінкою ООН, на території, забрудненій мінами і боєприпасами, що не розірвалися, на липень 2022 року проживало близько 14,5 млн осіб.

Державна служба України з надзвичайних ситуацій оцінювала заміновану територію в 300 тисяч км², а час, необхідний для її очищення, більш як у 10 років.

На середину серпня українська влада повідомляла про очищення близько 620 км² та деактивацію понад 175 тисяч вибухонебезпечних об'єктів. Час на очищення акваторії Чорного моря від мін українська влада оцінює у 5-7 років.

Розвиток автоматизації зробив можливим створення сучасних систем виявлення вибухонебезпечних об'єктів які дозволяють спеціалістам здійснювати пошук вибухонебезпечних об'єктів швидше, точніше та більш безпечно.

До безпілотних літальних апаратів та роботів, що здійснюють пошук належать ті, котрі мають спеціальні пристрої за допомогою яких програмний засіб або оператор може з певною точністю визначити місто знаходження вибухонебезпечного об'єкту. До таких пристроїв відносяться: тепловізор, металодетектор та георадар.

До переваг таких роботизованих систем можна віднести майже повну безпечність оператора. До недоліків – швидкість та точність пошуку, бо майже завжди результати пошуку дронів та роботів потребують перевірки оператором-сапером, тому що реагувати вони можуть майже на будь-який схожий об'єкт, який не є вибухонебезпечним.

II. МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Існує система аксесуарів X-RAY system для tEODor'a, що дозволяє проводити рентгенівське дослідження потенційно вибухонебезпечних об'єктів або об'єктів, які можуть маскувати (коробки, сумки, тощо). Робот передбачає можливість приєднання більш розвинутих маніпуляторів, що дозволить приєднати до маніпулятора металошукач або георадар, що дозволить шукатиміни, що закопані під землею. Виконання процесів пошуку та вибухонебезпечних об'єктів оператором можливе завдяки вбудованим звичайною та тепловізійною камерами, що розташовані на верхній частині потужного маніпулятора. Вони дозволяють оператору отримувати чітку уяву про об'єкт, на який направлено маніпулятор. Приблизна вартість робота та комплекту для розмінування сягає 750 000$.

Рисунок 1 – Роботизований комплекс TEODor у процесі розмінування

Telemax EVO Plus є гусеничною моделлю сімейства Telemax з найпотужнішим маніпулятором у порівнянні з іншими роботами сімейства,котрий має змогу підіймати та переносити об'єкти вагою до 80 кілограмів.

Telemax EVO Plus має подвійну корисну площу на шасі для забезпечення стійкої роботи з важкими об'єктами. Має меншу швидкість пересування, ніж колісні варіанти (5 км/год.), але має кращі показники стійкості на нерівній поверхні. Є одним з роботів сімейства Telemax, котрий має підтримку XplusSecurity – аксесуару для перевірки підозрілих об'єктів рентгенівським випромінюванням.

Рисунок 2 – Роботизований пристрій Telemax EVO Pro у процесі розмінування

Вінницька компанія Frendt представила надлегкий безпілотник-міношукач, який не підривається при наїзді на міну (рис.1). На машину можна встановити будь-які детектори, чи то метало- чи радари. Система дистанційно передає дані в офіс, прив'язуючи до GPS-координат і ми маємо карту небезпечних предметів, яку використовують сапери, і їм набагато простіше підходити до кожної ділянки й проводити розмінування.

Рисунок 3 – Безпілотник-міношукач від вінницької компанії Frendt

Електричний наземний дрон-всюдихід «Мул» від київських розробників вже допомагає в розмінуванні Харкова. Розробку почали на початку осені 2022 року. На технологічному форумі Keep robotics представили вже другий екземпляр «Мула», і, за словами представника, в роботі вже є третій. Він везе до 400 кг і на одному заряді в залежності від умов може їхати 60-80 км. Крім того, завантажений всюдихід може долати перешкоди до 20 см.

Один «Мул» коштує близько $6000. Перший всюдихід, як повідомили в компанії, вже застосовують для розмінування в Харкові.

Рисунок 4 – Електричний наземний дрон-всюдихід «Мул»

TALON – військовий робот із дистанційним керуванням, розроблений Foster-Miller і перебуває на озброєнні армії США. Робот призначений для пошуку, ідентифікації та розмінування в галузях ВВП, оборони та розвідки. Роботи TALON оснащені різноманітним обладнанням. Робот має високу індикатори швидкості, їх можна використовувати в різних середовищах від бруду до снігу. Довжина робота 87 см, ширина 58 см, висота 28 см, зазор 7,1 см. Вантажопідйомність до 9 кг, кузов витримує навантаження до 46 кг, буксирувальне навантаження до 77 кг. Базовий пристрій оснащений

маніпулятором, який обертається на 360°, динаміком, мікрофоном і ручкою. Також можна розмістити хімічні, радіаційні, температурні датчики, GPS-трекери, глушники сигналу. Під час спостереження за боєм або розвідки робот може бути оснащений до семи камерами. Оператор комплексу керує роботом через пульт управління, який може підтримувати радіо- або оптоволоконний зв'язок з роботом. Завдяки акумулятору великої ємності 300 Вт/год час автономної роботи може досягати 3 годин. На прямих дорогах максимальна швидкість 9 км/год. 45° – це максимальний ухил, який може подолати робот, а бічний ухил може досягати 50°.

Andros MarkV-A1 – колісний робот від Northrop Grumman. Представник серії робототехнічних комплексів Remotec ANDROS. Був прийнятий на озброєння інженерів і спецназу в 2005 році. Поліція та військові частини США. MarkV має камеру з підсвічуванням, розташовану на виступі 630 мм. У різних частинах робота розташовані камери, а на маніпуляторі – механічні затискачі. Маніпулятор може висуватися до 2,6 м, що дозволяє працювати з небезпечними вантажами та небезпечними матеріалами.

Оптимальним набором детекторів може бути: металошукач, тепловізор та Full HD камера. Змінне електромагнітне поле металодетектора викликає реакцію металевих предметів. Передавальна котушка, вбудована в головку металошукача, створює таке магнітне поле. Коли пошукова головка рухається над землею, приймальні котушки в пошуковій головці виявляють дуже невеликі коливання електромагнітного поля, спричинені металевими предметами. Потім ці зміни обробляються для отримання сигналу, який вказує на наявність металу в землі під пошуковою головкою. Всередині головки металошукача є котушка, яка називається передавальною котушкою. Електричний струм, що проходить через котушку, створює електромагнітне поле. Напрямок струму змінюється тисячі разів на секунду. Робоча частота перемикання означає кількість разів на секунду, коли струм тече за годинниковою стрілкою проти годинникової стрілки та назад за годинниковою стрілкою. Коли електричний струм тече в заданому напрямку, створюється магнітне поле, полярність якого спрямована до землі. Коли струм змінюється, полярність поля спрямована проти землі. Будь-який металевий або інший електропровідний об’єкт у шахті, який знаходиться поблизу, матиме потік струму, викликаний впливом мінливого магнітного поля, приблизно так само, як електричний генератор виробляє електрику, переміщаючи котушка дроту всередині фіксованого магнітного поля. Цей струм, що протікає всередині металевого об’єкта, у свою чергу створює власне магнітне поле з полярністю, спрямованою протилежно до поля передачі.

Процес розмінування українських територій із застосуванням роботехнічних комплексів військового призначення враховує в собі етапи:

– продумати розмінування місцевості;

– організація завдання по розмінуванню;

– розвідка території на забруднення вибухо-небезпечними предметами;

– пошук та ідентифікація вибухо-небезпечних предметів;

– маркування знайдених вибухо-небезпечних предметів;

– внесення даних про розмінування;

– відгородження мирного населення від зони роботи.

Для початку необхідно визначити безпечну зону, для оператора, мирних жителів і для вільного пересування робота. Після цього визначаються розміри ділянки на якій буде відбуватись пошук та маркування вибухо-небезпечних предметів.

Пошук та маркування вибухо-небезпечних предметів буде здійснюватися спочатку по периметру забрудненої зони, потім роботехнічний комплекс розпочинає процес пошуку послідовно-паралельним способом.

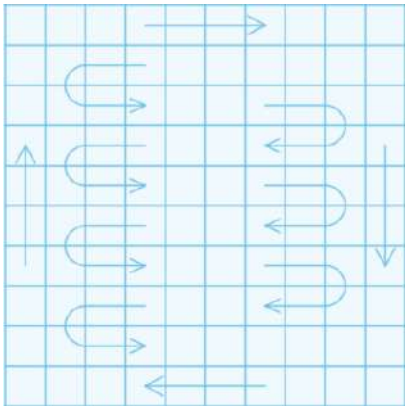


Рисунок 5 – Розробка маршруту робота при пошуку вибухо-небезпечних предметів

III. ВИСНОВКИ

Проведено аналіз сучасного стану розробки маніпуляторів робототехнічних систем військового та спеціального призначення для пошуку вибухонебезпечних предметів. Приведено основні види роботехнічних комплексів для пошуку вибухо-небезпечних предметів. Обраний оптимальний набір детекторів: металошукач, тепловізор та Full HD камера та вибраний маршрут розмінування.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

[1] TALON Tracked Military Robot. // Army Technology. URL: https://www.army-technology.com/projects/talon-tracked-military-robot/

[2] Вінницька компанія Frendt представила надлегкий безпілотник-міношукач, який не підривається при наїзді на міну. URL: https://dev.ua/news/frendt-bezpilotnyk-minoshukach?fbclid=IwAR0rflIIK1-X1MEJXDO4Ee-ZCpU1HMYk-u2u5u4uEY6HnHKBEe0khckAJis#comments

[3] Електричний наземний дрон-всюдихід «Мул» від київських розробників вже допомагає в розмінуванні Харкова. URL: https://dev.ua/news/mul#comments

[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] 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] 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] Невлюдов І. Ш., Андрусевич А. О., Євсєєв В. В., Новоселов С. П., Демська Н. П. Проектування мобільних маніпуляційних роботів: Монографія. – Х. :, 2022. – 427 с.

[8] 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

[9] 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

[10] Vladyslav Yevsieiev, Nikolaj Starodubcev (2023). Development of a control algorithm for a small-sized mobile manipulation robot. Scientific Collection «InterConf», (140), P. 648-651.

[11] 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.

[12] 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.

[13] Nevliudov I. Modernization of the work control system by the PUMA-560 manipulator / I. Nevliudov, V. Yevsieiev, N.Demska, Y. Valkivskyi // «Новітні технології»: журнал. № 2(12) 2021. – С. 7–15

[14] Yevsieiev, V. ., Maksymova, S. ., & Starodubcev, N. . (2022). A ROBOTIC PROSTHETIC A CONTROL SYSTEM AND A STRUCTURAL DIAGRAM DEVELOPMENT. Collection of Scientific Papers «ΛΌΓΟΣ», (August 12, 2022; Zurich, Switzerland), 113–114. https://doi.org/10.36074/logos-12.08.2022.33

[15] 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

[16] 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.

[17] 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.

[18] 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.

Моделювання артеріального тромбозу в серцево-судинній системі

Дмитро Кухаренко[1], Іван Лукеча[1]
1. Навчально-науковий інститут електричної інженерії та інформаційних технологій,
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, УКРАЇНА,
Кременчук, вул. Першотравнева, 20. email: dkuch100@gmail.com

Анотація: Серцево-судинні захворювання (ССЗ) є основною причиною смерті в усьому світі: з жодної іншої причини щороку не вмирає стільки людей, скільки від ССЗ (дані ВОЗ). Серцево-судинні захворювання є групою хвороб серця і кровоносних судин. Одним із видів ССЗ є стеноз. Стеноз – це звуження чи повна закупорка просвіту великих судин. Таке звуження виникає в кровоносній судині через відкладення холестерин, жирові речовини, клітинні відходи і т.д. Так відбувається утворення в артеріях тромбу або атеросклеротичної бляшки. Крім перелічених причин виникнення тромбу, є також система гемостазу, що розвивається з утворенням тромбу (згустку) у місці пошкодження судин, щоб запобігти втраті крові [1]. Реакція є швидкою, щоб обмежити кровотечу і регулюється, щоб запобігти надмірному згортанню, яке може обмежити кровотік. Гемостаз включає складні взаємодії між безліччю молекулярних і клітинних компонентів у крові і стінках судин.

Тромбоз може статися у всіх великих або дрібних артеріях [5]. Основними ділянками, схильними до утворення тромбу, є коронарні артерії, сонні артерії та периферичні артерії. Венозний тромбоз відносять до гострих захворювань, причин для нього виникнення багато, основні – це порушення структури венозної стінки під час операції, травми, променевої та хіміотерапії, уповільнення швидкості кровотоку, підвищена згортання крові. Артеріальний тромбоз (атеротромбоз) – патологічний стан, майже в усіх хворих є атеросклеротичні бляшки. Це холестеринові відкладення, вони звужують просвіт в артерії та призводять до дефіциту кровообігу. Згодом бляшки обростають тромбом.

Ключові слова: моделювання тромбу, серцево-судинна система, тромбоз, артеріальний тромбоз.

I. ВСТУП

Процеси, залучені до процесу згортання, можуть бути широко класифіковано на основі шкал довжини. Пов'язані реакції ферментативного протеолізу та їх асоціації та дисоціації, обумовлені гідрофобними та електростатичними взаємодіями, можна розглядати як процеси на молекулярному рівні, динамічний утворення згустку та лізис більших частинок, таких як тромбоцити,
vWF, фібрин, RBC і т. д., можна розглядати як мікроскопічні процеси. Полімеризація фібрину на вищому рівні, його прикріплення та відшарування зі стінками судинної камери та еритроцитами можна розглядати як процеси макроскопічного континуального рівня. Щоб моделювати ці процеси в різних просторово-часових масштабах, ми повинні використовувати відповідні обчислювальні інструменти. На щастя, математичні та обчислювальні методи значно просунулися протягом останнього століття, а обчислювальні ресурси, такі як комп'ютери та сервери, стали дешевшими і швидше [1,2]. Можна, можливо використовувати безкоштовне програмне забезпечення з відкритим вихідним кодом та потужні мови, такі як LAMMPS, NAMD, GROMACS, OpenFoam, Octave, Python і т.д., щоб моделювати ці процеси в різних масштабах.

II. МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Метод кінцевих елементів (FEM) - це чисельний метод, використовуваний для аналізу методом кінцевих елементів (FEA) будь-якого даного фізичного явища. Необхідно використати математику для всебічного розуміння та кількісної оцінки будь-яких фізичних явищ, таких як структурна поведінка або поведінка рідини, перенесення тепла, поширення хвиль та зростання біологічних клітин. Більшість із цих процесів описані з використанням диференціальних рівнянь приватних похідних (PDE). Тим не менш, для комп'ютера, щоб вирішити ці PDE, чисельні методи були розроблені протягом останніх кількох десятиліть, і одним із найвидатніших сьогодні є метод кінцевих елементів.

Моделювання потоку крові та формування її згустку – складний процес. Через велику кількість реакцій протеолізу та полімеризації утруднюється моделювання одним методом, і використовують комбінації існуючих підходів У цій роботі ми будемо класифікувати різні методи, що використовуються для гемостазу та тромбозу, на основі довжини, шкали часу та його класу. Для стислості ми обмежимо наші обговорення, пов'язані з моделюванням та моделюванням утворення крові чи фібринового згустку, і навіть їх механікою. Спочатку ми перерахуємо методи моделювання, орієнтовані на рух крові та утворення згустків, а потім поговоримо про методи вивчення механіки таких утворених згустків.

Судина крові представлена у вигляді трубочки, які переносять кров, насичену киснем, по артерії, артеріолі та артеріальному капіляру до всіх органів, а також у серце кров надходить виключно по венозному капіляру, венулі та вені. В анатомії людини виділяють 5 видів: артерій, артеріол, капіляр, венул, вен.

Людський організм складається з 2-х кіл кровообігу – великий коло кровообігу та мале коло кровообігу. До малого кола кровообіг відноситься головний мозок. Кожен вид судин виконує певні завдання, і тому у судин різні діаметри, товщини та склади стін.

Артерія - це судина, якою кров рухається з серця. Серце викидає кров з великою швидкістю і тому стінки артерій мають порівняно більшу товщину, тому що витримують великий тиск. Діаметр артерій також відносно найбільший в в порівнянні з іншими

типами судин. Найбільшою артерією в організмі людини є аорта. У найширшій частині аорта має діаметр 25-30 мм де тиск становить P=100-110 мм.рт.ст. Так як стінки артерій досить еластичні, вони мають здатність стискатися та розширюватись в залежності від кількості та тиску крові,
що надходить до них.

Артеріоли є дрібними артеріями, розташованими між артерією та капіляром. Біля стінок артеріол середня товщина, будучи меншою за товщину стінок артерій, але більше капілярних, і мають головним чином гладкі м'язи. Через те що артеріоли мають гладкі м'язи, вона здатна змінювати свої розміри. Розміри діаметра впливають на швидкість кровообігу, тому що менше діаметр, то більше швидкість спостерігається, і навпаки. Тиск та діаметр становить тиск: P=70-80 мм.рт.ст та D=50-100 мкм.

Капілярами називаються дрібні судини крові, які мають унікальність, що відрізняється від артерій, артеріол, венул і вен завдяки своїм функціональним особливостям.

Організм і більшість тканини людини пронизана капілярами. За обмін речовин у організмі відповідальні капіляри. Води, молекули, ліпіди, кисні, сечовини, вуглекислий газ та інші речовини вільно проникають по стінках капілярів, оскільки вони дуже невеликого розміру. І тому в цій особливості капілярів в організмі має місце процес обмін речовин.

Загальна кількість капілярів налічує приблизно 40 мільярдів, а їх площа займає майже 1000 кв. м. Стінки капілярів включають лише один шар клітин ендотелію. Дія цитокоїну обумовлена проникністю капілярних стін. P=15-30 мм.рт.ст (тиск), D=4,5-7мкм (діаметр).

Венунулаю. Вену доповнює капілярну мережу і відповідає за рух крові в капілярах. Стінка венули ширша, ніж у капілярів, але вже в порівнянні з артеріольними. Діаметр становить D=40-50 мкм, а тиск -
P=15-20 мм.рт.ст. Швидкість перебігу крові за венулами може коливатися в діапазоні 3-10 мм/с.

Щоб описати звуження кровоносної судини, у медицині використовується термін «Стеноз». Стеноз - це розвиток атеросклеротичної бляшки самої артерії, що є судинами, що несуть кров від серця до органам. Під атеросклерозом мається на увазі патологічний процес, внаслідок якого стінки артерій засмічуються жиром, холестерином, кальцієм та іншими речовинами, утворюючи при цьому так звані атероматозні бляшки. В результаті стінки артерій товщають і втрачають свою еластичність, що призводить до погіршення їхнього просвіту та перешкоджає цим вільному руху крові [1].

До групи ризику входить люди з такими хворобами та шкідливими звичками:

- куріння;
- переважання в раціоні жирної їжі та гострої їжі;
- цукровий діабет;
- васкуліти;
- ожиріння;
- атеросклероз;
- гіпертонія.

Атеросклероз судини у головному мозку. У разі порушення в головному мозку відбуваються збої в кровопостачання. Симптоми залежать ураженої конкретної ділянки головного мозку. У разі, коли у судинах головного мозку відбувається звуження те, що починається недостатній кровообіг з яскравими симптомами.

В медицині є 3 етапи стенозу:

1. субстеноз;
2. субтотальний стеноз;
3. тотальний стеноз.

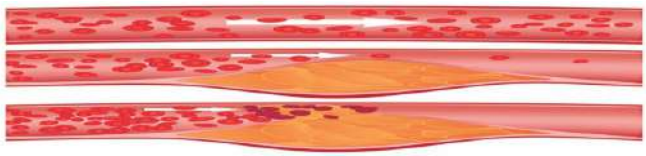


Рисунок 1 – Три етапи стенозу

Число Рейнольдса безрозмірне. У кожного числа Рейнольдса є критичне число:

1. Потік є ламінарним, якщо Re = 0-2100.
2. Потік є перехідним, якщо Re = 2100-4000.
3. Потік є турбулентним, якщо Re>4000 .

Щоб знайти число Рейнольдса, використовуємо формулу:

$$\mathrm{Re} = \frac{\upsilon \cdot D \cdot \rho}{\mu}.$$

За густину крові беремо -ρ. При питомій вазі та відносній густини величина показує співвідношення ваги речовин до займаних обсягів. Питома вага крові -1,050-1,060 г/см^3. Плазма крові рідка та легка, а її формені елементи (еритроцити, тромбоцити та лейкоцити), навпаки, тяжкі. Питома вага крові обумовлена кількістю еритроцитів, вміст гемоглобіну в них та складу плазми. При важкій роботі підвищується пітливість, отже, підвищується питома вага або щільність, кров згущується. А при зниженій пітливості спостерігається анемія. В'язкість крові відноситься до в'язкості води у співвідношенні 4-5,5. Де г/с·см (в'язкість). Якщо в'язкість води взяти за 1, отже кров буде 4-5 разів густіша, звідси плазма густіша в 1,7-2,2 рази. Нормальна температура людини 36,2-36,7^{o}C. Вимірювання температури проводять в умовах стандарту. В'язкість крові не залежить від температури тіла, відповідно, не змінюватиметься. В'язкість збільшується у випадках, коли відбувається зневоднення (наприклад, при опіках, проносах, або в нормі при жарі влітку або в лазні), так само в'язкість може збільшуватися якщо збільшується кількість формених елементів (наприклад – у горах зі зниженим атмосферним тиском інтенсифікується вироблення еритроцитів з метою відшкодування кисневого голоду, а якщо кров згущується, то спостерігається варикоз, тромбоз, водночас атеросклеротична бляшка також провокує зниження еластичності еритроцитів та кров стає в'язкою). В'язка кров обумовлюється великомолекулярними білками плазми. фібриноген. -Тиск крові в судинах головного мозку в нормі починається з 50-60 до 130-160 мм рт.ст. -Швидкість перебігу крові у мозкових судинах. Об'ємна

швидкість кровообіг дорівнює 50-65 мл/100 г/хв. Лінійна швидкість кровообігу налічує Поверхня мозку характеризується різними анастомозами, оскільки кровоносні судини задіяні у великому колі кровообігу. Якщо ж у судинах мозкового кровообігу (мале коло) відсутня анастомоз, то внаслідок чого ішемії нервової тканини супроводжує тромбоз або спазм дрібних судин усередині мозку. Середня вага головного мозку 1420-1520 г у стані спокою споживає приблизно 720 мл/хв – це близько 15% загального викиду. Діаметр судини дорівнює D = 0,01 см.

$$\mathrm{Re} = \frac{\vartheta \cdot D \cdot \rho}{\mu} = \frac{40\frac{см}{с} \cdot 0{,}01см \cdot 1{,}05\frac{г}{см^3}}{0{,}03\frac{г}{с \cdot см}} = 14$$

Течія є ламінарним т.к. Re=1750. Ламінарна течія – це течія, в якій рідина рухається без будь-яких перемішування та пульсацій. Стандартна кров (у нормі) являє собою ламінарний потік. У ході ламінарного потоку утворюються профілі швидкостей рухів рідини по параболічній трубі, яке називається параболічною.

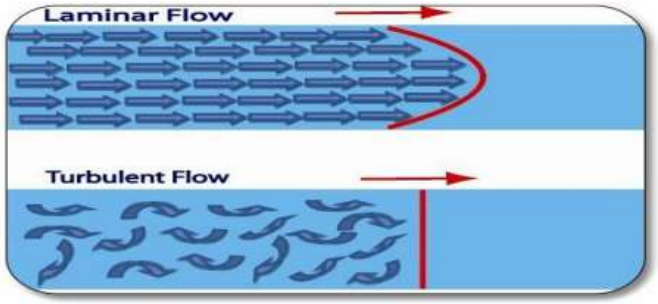


Рисунок 2 – Артеріальна течія: турбулентна та ламінарна

Причина патологічних звивистостей буває часто вродженою, але нерідко гіперподовження артерії протікає як наслідок гіпертонічної хвороби. Тривалий проміжок часу звивистий посуд не виявляє будь-які симптоми, але несподівано у хворого запускаються розлади кровообігу судин головного мозку. Через гемодинамічного порушення, викликаних патологічною звивистістю судин, починається гострий розлад кровообігу в судинах головного мозку ішемічного характеру У багатьох пацієнтів, які отримали інсульт зі смертельними наслідками, медики виявили патології сонних та хребетних артерій. Якщо порушено кровообіг судин головного мозку з патологічною звитістю утворюється септальний стеноз у місцях перегину зі зниженим кровотоком і так само призводять до наявності пристінкового тромбу у місці перегину та у петлях. Якщо в посудині є тромби, це породжує артеріо-артеріальну емболію. Патологічна звивистість потребує хірургічного втручання. У В даний час напрацьовано безліч різних методик хірургічної корекції розглянутої патології.

Чисельне моделювання вен дозволяє візуалізувати перебіг, викликане стенозом (рис 3, 4). Завдяки цій додатковій інформації, отриманої в результаті експериментів, можна виявити як розміри стінок, тип і характеру перебігу впливають на стадію захворювання. Фізіологічні та патологічні умови у кровоносних судинах розвиваються за таких параметрів: розподіл швидкості по осі, діаметр судини, щільність та в'язкість крові. Особливою характерною рисою кровообігу, де є стеноз, відзначається наявність перехідного і турбулентного режиму течії, що є патологією порівняно з нормальним режимом перебігу крові. При найменших числах Рейнольдса у мозковому кровообігу перебіг крові протікає у ламінарному режимі. Септальний стеноз характеризується такими явищами поділу течії, вихровими зонами, сильними прикордонними шарами.

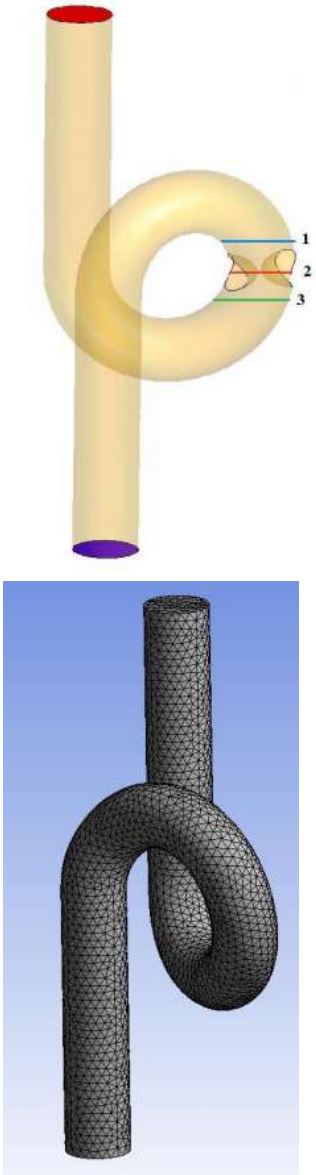


Рисунок 3 – Спроби моделювання тромбу в завитку артерії

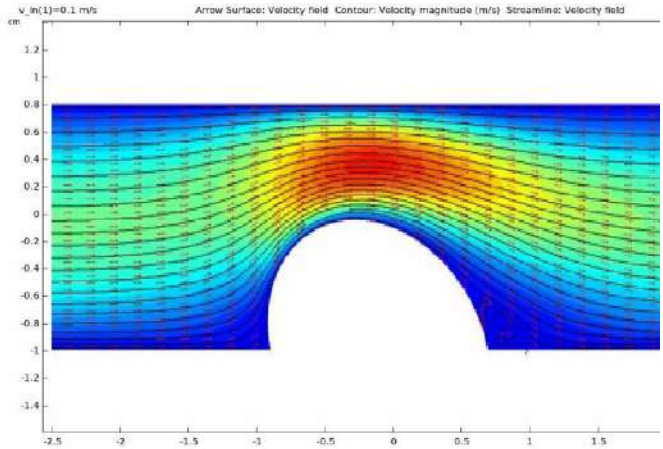


Рисунок 4 – Спроби моделювання тромбу з утворенням турбулентності в артерії

III. ВИСНОВКИ

Для розрахунку та візуалізації потоку рідини з властивостями, аналогічними властивостями крові, був використаний математичний пакет моделювання COMSOL Multiphysics. Зроблені перші спроби моделювання стенозу (тромбозу) в кровоносному руслі.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

[1] Компанієць Б. Ю., Кухаренко Д. В., Вадурін К. О. Візуалізація пухлин головного мозку людини шляхом створення тривимірної полігональної моделі. Виробництво & Мехатронні Системи 2019 : матеріали III Міжнар. конф., м. Харків, 24–25 жовтня 2019 р. Х. : ХНУРЕ, 2019. С. 24–26.

[2] Вадурін К. О., Кухаренко Д. В., Фомовський Ф. В., Фомовська О. В., Юрко О. О. Удосконалення методу візуалізації пухлин головного мозку людини. World science: problems, prospects and innovations : матеріали VIII міжнар. наук.-практ. конф., м. Торонто, 21-23 квіт. 2021 р. Торонто, 2021. С. 287–293.

[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] Viktoriia Bortnikova, Vladyslav Yevsieiev, Iryna Botsman, Igor Nevliudov, Kostiantyn Kolesnyk, Nazariy Jaworski. Queries classification using machine learning for implementation in intelligent manufacturing // Chapter 6 in Monograph «Methods and tools in CAD – selected issues». – Białystok (Poland): Publishing House of Bialystok University of Technology. – 2021. – PP. 63-74.

[5] 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.

[6] 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.

[7] 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.

Розробка моделей та методів комп’ютерного планування оперативних втручань на ШКТ

Дмитро Кухаренко[1], Владислав Нікітюк[1]
1. Навчально-науковий інститут електричної інженерії та інформаційних технологій,
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, УКРАЇНА,
Кременчук, вул. Першотравнева, 20. email: dkuch100@gmail.com

Анотація: Згідно з даними, які повідомив Микола Хобзей, голова департаменту реформ та розвитку медичної допомоги МОЗ України, щороку онкологічні захворювання первинно діагностують у 160 тисяч українців. За офіційними даними в Україні проживає близько одного мільйона людей, які вже перенесли якесь онкологічне захворювання. Щороку в країні від раку помирає 90 тисяч населення, половина з яких працездатного віку. У Києві у кожного 56 жителя діагностують злоякісну пухлину [2]. Щогодини в Україні рак діагностують у 18 осіб, а 10 людина помирає від онкологічного захворювання. Онкологія прямої кишки та шлунку становить 52,2% від усіх злоякісних пухлин [1].

Мета роботи – створення математичної та програмної моделі ШКТ людини з можливістю довільного визначення координат злоякісних утворень на його поверхні, для подальшого адекватного хірургічного втручання з метою видалення частини злоякісної тканини. Також визначити основні показники, які будуть впливати на адекватність моделі ШКТ, що буде побудована.

Ключові слова: комп’ютерне планування, шлунково-кишковий тракт, моделі та методи, програмне забезпечення.

I. ВСТУП

До складу шлунково-кишкового тракту (ШКТ) входить: ротова порожнина, ротоглотка, стравохід, шлунок, тонка кишка (до складу якої входить дванадцятипала, худа і клубова), і товста кишка (ділиться на сліпу, висхідну, поперечну, низхідну, сигмовидну і пряму); крім цього до травної системи належать травні залози, найбільшими з яких є три пари слинних (по одній з кожного боку - привушні, підщелепні і під’язикові), а також підшлункова залоза і печінка з жовчним міхуром. Таким чином можна виділити основні анатомічні структури ШКТ: шлунок, тонка кишка, товста кишка.

Величина шлунка сильно варіює як індивідуально, так і в залежності від його наповнення. При середньому ступені розтягування його довжина близько 21-25 см. Ємність шлунка в значній мірі залежить від дієтичних звичок суб'єкта і може коливатися від одного до декількох літрів. Розміри шлунка новонародженого дуже невеликі (довжина дорівнює 5 см) [1]. Існують наступні три основні форми і положення шлунка:

- шлунок у формі рогу. Тіло шлунка розташоване майже поперек, поступово звужуючись до пілоричного частини. Привратник лежить вправо від правого краю хребетного стовпа і є найнижчою точкою шлунка. Внаслідок цього кут між низхідній і висхідній частинами шлунка відсутній. Весь шлунок розташований майже поперечно;
-шлунок у формі гачка. Низхідна частина шлунка спускається косо або майже прямовисно вниз. Висхідна частина розташована косо - знизу вгору і направо. Привратник лежить біля правого краю хребетного стовпа. Між висхідній і низхідній частинами утворюється кут (incisura angularis), дещо менший прямого. Загальне положення шлунка косе;
-шлунок у формі панчохи, або подовжений шлунок. Він схожий на попередній («гачок»), але має деякі відмінності: як говорить сама назва, спадна частина його більш подовжена і спускається вертикально; висхідна частина піднімається вгору крутіше, ніж у шлунку у формі гачка. Кут, утворений малої кривизною, більш гострий (30-40 °).

Тонка кишка має менше товсті і міцні стінки, ніж стінки товстої кишки, а також діаметр її внутрішнього просвіту, або порожнини, також менше діаметра просвіту товстої кишки. Тонка кишка та товста мають циліндричну форму. Існуючі моделі ШКТ можна поділити на дві основні групи: фізичні моделі та комп’ютерні. Основні недоліки фізичних та комп’ютерних моделей: модель немає математичного апарату і не враховує геометричні властивості ШКТ та не дозволяє робити комп’ютерне планування хірургічних втручань. Слугує тільки для наочного представлення (рис.1-5).

Рисунок 1 – Фізична модель шлунку

Рисунок 2 – Комп'ютерна модель шлунку

Рисунок 3 – Тривимірна модель шлунку

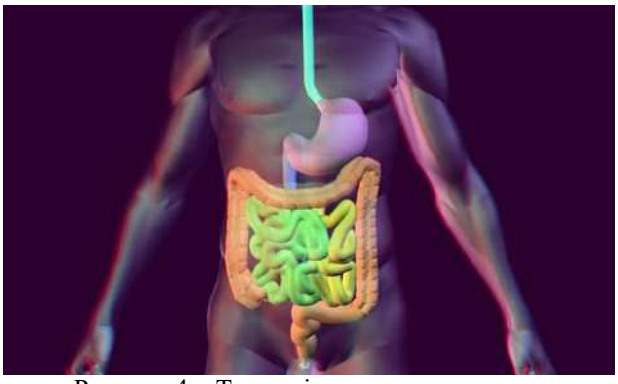


Рисунок 4 – Тривимірна модель шлунку в програмному забезпеченні 3d Max

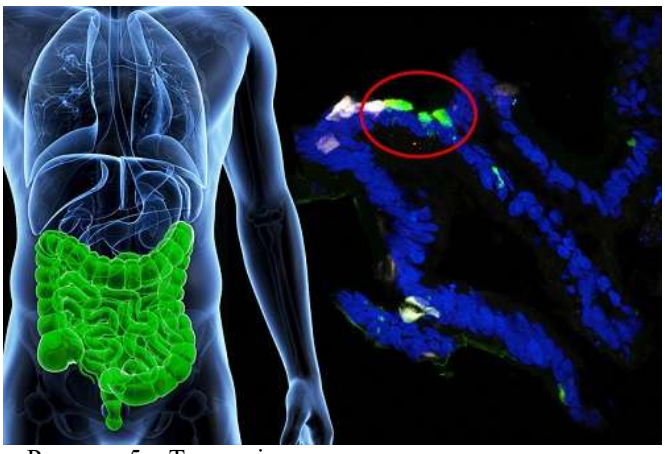


Рисунок 5 – Тривимірна модель шлунку шлунку в програмному забезпеченні 3d Max з визначенням патологічного стану

II. МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Побудова спрощена координатна сітка для тривимірної декартової системи координат. Її можна застосовувати тільки для ознайомлення і навчання медичного персоналу. Основним недоліком є те, що спрощена координатна сітка не враховує анатомічну особливість при плануванні оперативних втручань на ШКТ людини.

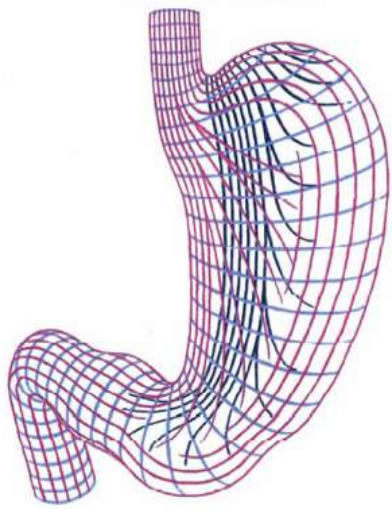


Рисунок 6 – Побудова спрощеної координатної сітки для шлунку

Базуючись на результатах приведених в роботі [1,2,3,4], а саме апроксимація увігнутої (точки 1-5 рис. 7, б)) і опуклої (точки 9-16) стінок шлунка (астрального відділу) поліномами третього і п'ятого ступеня відповідно (1),(2), були запропоновані наступні рівняння, а також створена модель шлунку в спеціалізованому безкоштовному програмному забезпеченні Wings 3d рис.7, а).

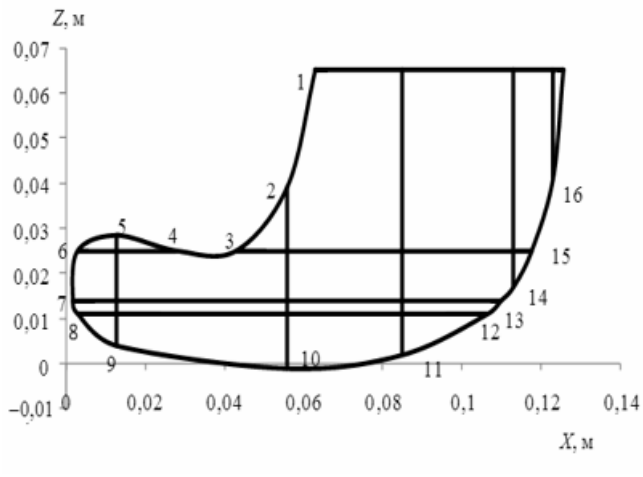
$Z=(896{,}436x^3 -64{,}994\ x^2 + 1{,}206x+0{,}023)+P;$

$Z=(9617{,}999\ x^5 -847{,}094\ x^4-104{,}9966x^3 +15{,}369\ x^2 - 0{,}661x+0{,}011)+P,$

де P- поправочний коефіцієнт, що уточнює форму та розмір шлунку.

Розроблена тривимірна модель шлунку має в своєму складі початкову координатну сітку, що складається з 51 727 розрахункових трикутних елементів (лінійних розмір елементів 4 · 10-4 м).

а)



б)

Рисунок 7 – Моделювання шлунку в спеціалізованому безкоштовному програмному забезпеченні Wings 3d

Для побудови координатної сітки для тонкої кишки та товстої, необхідно використати відому циліндричну систему координат, а також рівняння переходу від декартової системи координат до циліндричної і навпаки. В результаті отримаємо наступні рівняння:

$$V = \iiint_G dxdydz;$$

$$m = \iiint_G \mu(x,y,z)dxdydz;$$

$$\mu_{сер}(x,y,z) = \frac{m}{V} = \frac{\iiint_G \mu(x,y,z)dxdydz}{\iiint_G dxdydz};$$

$$V = \iiint_G dxdydz = \iiint_G rdrd\varphi dz;$$

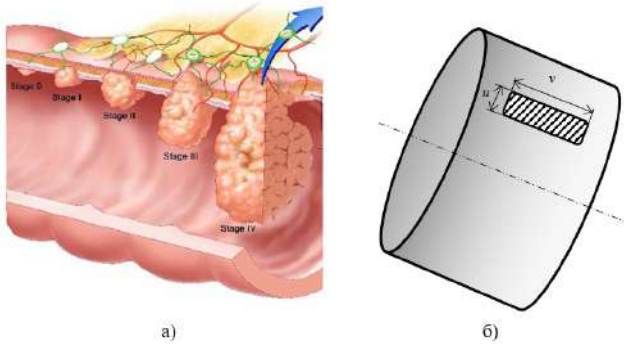
$$m = \iiint_G \mu(x,y,z)dxdydz = \iiint_G \mu'(r\cos\varphi, r\sin\varphi, z)r\,drd\varphi dz.$$

Розрахувати площу злоякісної пухлини можна розрахувати за наступною формулою:

dS=k·dv·du,

де k – коефіцієнт пружності м'язів тонкого кишечника, dv – довжина пухлини, du – ширина пухлини (рис.8).

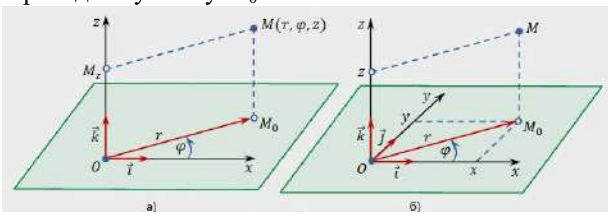
Для моделювання ШКТ, а як наслідок - побудови комп'ютерної системи, необхідно визначитися з основними параметрами та основними анатомічними структурами, які будуть мати вагомий внесок при плануванні оперативних втручань на ШКТ.



а) б)

Рисунок 8 – Тонкий кишечник: а) тривимірне зображення злоякісної пухлини; б) схематичне зображення злоякісної пухлини, яка має довжину *v* та ширину *u*.

Спосіб визначення координат на внутрішній поверхні моделі тонкого кишечника, коли точка M переходить у точку M_0.



$$\begin{cases} x = r\cos\varphi; \\ y = r\sin\varphi; \\ z = z. \end{cases}$$

$$\begin{cases} r = \sqrt{x^2 + y^2}; \\ \cos\varphi = r\sin\varphi,\ \varphi(-\pi \le \varphi \le \pi); \\ \sin\varphi = \dfrac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}}; \\ z = z. \end{cases}$$

Комп'ютерна система повинна мати вхідний блок для вводу основних параметрів, необхідних для планування оперативних втручань. Вхідні параметри можна отримати за допомогою рентгенологічного дослідження, наприклад, визначити форму і величину шлунка. По нижній межі шлунка можна визначити його опущення. На стінках шлунка (а також кишок) можна бачити різні патологічні зміни-потовщення слизової оболонки, виразку, ракову пухлину, рубцеве звуження.

Блок додаткових обчислень повинен мати відповідні розрахунки, наприклад, визначення місця рецесії ракової пухлини, розрахунок координатної сітки, тощо. Модуль штучного інтелекту (нейронна

мережа) необхідний для підвищення ймовірності прийняття оптимального рішення щодо передопераційного планування, враховуючи досвід хірурга. Модуль зображення ШКТ дає наочне представлення про місце патології. База даних пацієнтів забезпечує збереження повної інформації не тільки про пацієнта, а й дає змогу адекватно працювати модулю штучного інтелекту. Також необхідно мати вихідний блок, який пропонує лікарю-хірургу результат планування. Структурна схема приведена на рис.9.

Рисунок 9 – Структурна схема комп'ютерної системи передопераційного планування онкології ШКТ людини

III. ВИСНОВКИ

Застосування систем передопераційного планування може значно прискорити або спростити роботу лікаря, допомогти йому уникнути власних помилок. Виділено основні анатомічні структури ШКТ для дослідження й моделювання: шлунок, тонка кишка, товста кишка. Запропонована математична модель визначення координат злоякісних утворювань у ШКТ і її програмна реалізація. Також запропонована тривимірна модель шлунку в спеціалізованому безкоштовному програмному забезпеченні Wings 3d, яка має в своєму складі початкову координатну сітку, що складається з 51 727 розрахункових трикутних елементів (лінійних розмір елементів 4·10-4 м). Вона враховує анатомічну особливість величини та розміру шлунку кожної людини. Також побудована спрощена координатна сітка ШКТ. Створена структурна схема комп'ютерної системи передопераційного планування онкологічних захворювань ШКТ.

На основі аналізу існуючих моделей ШКТ, методів та систем хірургічного планування виявлено їх недоліки, основними з яких є використання спрощеного математичного апарату, що не враховує геометричні властивості і біологічні параметри шлунка та відсутність адекватного комп'ютерного планування та прогнозування хірургічного втручання. Для підвищення достовірності методів прогнозування оперативних втручань розроблено метод визначення координат на внутрішній поверхні моделі тонкого кишечника. Розроблено метод визначення координат на внутрішній поверхні моделі шлунку. Для реалізації запропонованих методів розроблена модель ШКТ людини, що дозволяє її тривимірну візуалізацію.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

[1] Вадурін К. О., Мєшков М. Ю. Розробка методології застосування прийомів креслення у медичних системах. *Радіоелектроніка і молодь у XXI столітті* : матеріали XXV міжнар. молодіж. форуму, м. Харків, 20-22 квіт. 2021 р. Харків, 2021.

[2] Компанієць Б. Ю., Кухаренко Д. В., Вадурін К. О. Візуалізація пухлин головного мозку людини шляхом створення тривимірної полігональної моделі. *Виробництво & Мехатронні Системи 2019* : матеріали III Міжнар. конф., м. Харків, 24–25 жовтня 2019 р. Х. : ХНУРЕ, 2019. С. 24–26.

[3] Компанієць Б. Ю., Кухаренко Д. В., Вадурін К. О. Огляд методів та засобів планування оперативних втручань на гемангіому. *Виробництво & Мехатронні Системи 2019* : матеріали III Міжнар. конф., м. Харків, 24–25 жовтня 2019 р. Х. : ХНУРЕ, 2019. С. 38–41.

[4] Вадурін К. О., Кухаренко Д. В., Фомовський Ф. В., Фомовська О. В., Юрко О. О. Удосконалення методу візуалізації пухлин головного мозку людини. *World science: problems, prospects and innovations* : матеріали VIII міжнар. наук.-практ. конф., м. Торонто, 21-23 квіт. 2021 р. Торонто, 2021. С. 287–293.

[5] 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.

[6] Nevliudov, I., Razumov-Fryziuk, I., Yevsieiev, V., Nikitin, D., Blyzniuk, D., & Strelets, R. (2022). Cost estimation of photopolymer resin for 3D exposure of circuit boards. Technology Audit and Production Reserves, 2(2(64), 43–49. https://doi.org/10.15587/2706-5448.2022.256538

Особливості розробки автономного малогабаритного робота

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

Анотація: У даній роботі розглядається особливості та нюанси розробки автономного малогабаритного робота. Для досягнення поставленої задачі була розроблена схема малогабаритного робота на базі Arduino Uno R3, використання ультразукових датчиків HC-SR04 для орієнтування у просторі та моторів – редукторів для руху. Програмне забезпечення розроблено з використанням мови програмування C++ та оптимізовано для взаємодії з ультразвуковими датчиками. Також були проведено тести на виявлення недоліків системи та їх виправлення для кращої роботи системи.

***Ключові* слова:** Робот, Розробка, Особливості, Автономний, Ультразвуковий датчик HC-SR04, Програмне забезпечення, Енергоефективність, Arduino IDE, Мотор - редуктор.

I. ВСТУП

Розробка малогабаритних роботів є актуальною і важливою з багатьох вагомих причин. Перш за все, мобільність: малогабаритні роботи можуть легко переміщатися в обмежених просторах, де великі роботи не могли б дістатися. Це особливо важливо в медицині для внутрішніх досліджень та операцій, а також в пошукових і рятувальних операціях у складних умовах..

Другий фактор – ефективність. Малогабаритні роботи можуть виконувати завдання більш ефективно завдяки своїй компактності і маневреності. Наприклад, вони можуть бути використані для автоматизації виробництва, де простір обмежений, або для збору інформації на важкодоступних місцях, таких як трубопроводи або вентиляційні системи.

Третім фактором є нові можливості. Малогабаритні роботи відкривають нові можливості в таких областях, як дослідження космосу, вивчення океану, дослідження підземелля та багато інших. Вони можуть досліджувати небезпечні середовища, де не можуть перебувати люди.

II. РОЗРОБКА МАЛОГАБАРИТНОГО РОБОТА

У цьому розділі ми побудуємо простого малогабаритного робота. Для цього за основу використовуємо Arduino Uno R3, макетну плату для з'єднання, для руху - мотори – редуктори та електричні привіди L293D. Для орієнтування у просторі використаємо ультразвукові датчики HC-SR04 (Рисунок 1).

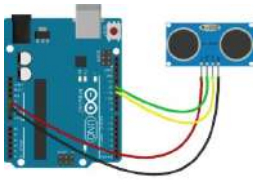


Рисунок 1 – Ультразвуковий датчик HC-SR04

Для збору схеми робота використуємо Autocad Tinkercad. На Рисунку 2 зображена схемі підключення робота.

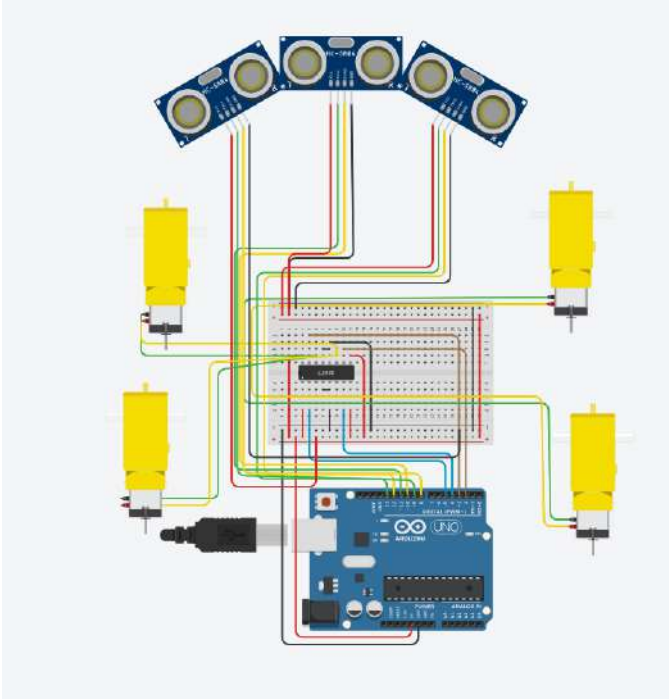


Рисунок 2 – Схема підключення

Робот буде їхати прямо, але при вияві перешкоди перед собою буде її об'їзжати доступнм способом: якщо перешкода прямо, робот перевіре на наявність перешкод по боках. Якщо перешкода ліворуч, робот обмине її праворуч, якщо перешкода праворуч – обмине ліворуч.

Мовою програмування, для розробки програмного забезпечення робота, було обрано C++ через високу продуктивність і сумісністю із обраним мікроконтролером.

Код для Arduino:

```
//Підключаємо модулі у піни за необхідним номером
int intPin5 = 5;
int intPin4 = 4;
int intPin3 = 3;
int intPin2 = 2;
int trigPin13 = 13;
```

```
int echoPin12 = 12;
int trigPin11 = 11;
int echoPin10 = 10;
int trigPin9 = 9;
int echoPin8 = 8;
//Створюємо змінні для збереження інформаціїї щодо
дистанціїї від датчиків до об'єкту
long duration_center, cm_center;
long duration_left, cm_left;
long duration_right, cm_right;
//Ініціалізація портів
void setup() {
  pinMode(intPin5, OUTPUT);
  pinMode(intPin4, OUTPUT);
  pinMode(intPin3, OUTPUT);
  pinMode(intPin2, OUTPUT);
  pinMode(trigPin13,OUTPUT);
  pinMode(echoPin12,INPUT);
  pinMode(trigPin11,OUTPUT);
  pinMode(echoPin10,INPUT);
  pinMode(trigPin9,OUTPUT);
  pinMode(echoPin8,INPUT);
}
//Створюємо цикл
void loop() {
//Прописуємо роботу ультразвукових датчиків та
вимірюємо відстань до перешкоди
//Правий датчик
digitalWrite(trigPin13,LOW);
 delayMicroseconds(5);
 digitalWrite(trigPin13,HIGH);
 delayMicroseconds(10);
 digitalWrite(trigPin13,LOW);
 pinMode(echoPin12,INPUT);
 duration_right = pulseIn(echoPin12,HIGH);
 cm_right = (duration_right/2)/29.1 ;
  //Центральний датчик
 digitalWrite(trigPin11,LOW);
 delayMicroseconds(5);
 digitalWrite(trigPin11,HIGH);
 delayMicroseconds(10);
 digitalWrite(trigPin11,LOW);
 pinMode(echoPin10,INPUT);
 duration_center = pulseIn(echoPin10,HIGH);
 cm_center = (duration_center/2)/29.1 ;
  //Лівий датчик
 digitalWrite(trigPin9,LOW);
 delayMicroseconds(5);
 digitalWrite(trigPin9,HIGH);
 delayMicroseconds(10);
 digitalWrite(trigPin9,LOW);
 pinMode(echoPin8,INPUT);
 duration_left = pulseIn(echoPin8,HIGH);
 cm_left = (duration_left/2)/29.1 ;
//Прописуємо алгоритм для об'їзду перешкод
if (cm_right < 80) {
    digitalWrite(intPin5, HIGH);
    digitalWrite(intPin4, LOW);
    digitalWrite(intPin3, LOW);
    digitalWrite(intPin2, HIGH);
    delay(5000);
    digitalWrite(intPin5, HIGH);
    digitalWrite(intPin4, LOW);
    digitalWrite(intPin3, HIGH);
    digitalWrite(intPin2, LOW);
    delay(5000);
    digitalWrite(intPin5, LOW);
    digitalWrite(intPin4, HIGH);
    digitalWrite(intPin3, HIGH);
    digitalWrite(intPin2, LOW);
    delay(5000);
}
 else if(cm_center < 80) {
    digitalWrite(intPin5, HIGH);
    digitalWrite(intPin4, LOW);
    digitalWrite(intPin3, LOW);
    digitalWrite(intPin2, HIGH);
    delay(5000);
    digitalWrite(intPin5, HIGH);
    digitalWrite(intPin4, LOW);
    digitalWrite(intPin3, HIGH);
    digitalWrite(intPin2, LOW);
    delay(5000);
    digitalWrite(intPin5, LOW);
    digitalWrite(intPin4, HIGH);
    digitalWrite(intPin3, HIGH);
    digitalWrite(intPin2, LOW);
    delay(5000);
}
 else if(cm_left < 80) {
    digitalWrite(intPin5, LOW);
    digitalWrite(intPin4, HIGH);
    digitalWrite(intPin3, HIGH);
    digitalWrite(intPin2, LOW);
    delay(5000);
    digitalWrite(intPin5, HIGH);
    digitalWrite(intPin4, LOW);
    digitalWrite(intPin3, HIGH);
    digitalWrite(intPin2, LOW);
    delay(5000);
    digitalWrite(intPin5, HIGH);
    digitalWrite(intPin4, LOW);
    digitalWrite(intPin3, LOW);
    digitalWrite(intPin2, HIGH);
    delay(5000);
}
 else{
    digitalWrite(intPin5, HIGH);
    digitalWrite(intPin4, LOW);
    digitalWrite(intPin3, HIGH);
    digitalWrite(intPin2, LOW);
 }
}
```

III. ТЕСТУВАННЯ, ВИЯВЛЕННЯ НЕДОЛІКІВ ТА ЇХ РІШЕННЯ

Для оцінки робота, були проведені тести системи на енергоефективність.

Під час дослідів було виявлено проблему з автономністю. Це пов'язано із роботою датчиків ультразвуку, які весь час працюють. Для покращення автономності переробимо схему робота.

Замість чотирьох моторів – редукторів використаємо два і додатково поставим ролик. Три ультразвукові датчики замінимо на комбінацію

одного датчика та сервопривіда. Таким чином, один датчик буде аналізувати всі напрями так само, як і комбінація з трьох.

Завдяки цьому нам вдалося продовжити час роботи, та звільнити порти на мікроконтролері, куди можна під'єднати додаткові датчики для покращення функціоналу робота

VII. ВИСНОВКИ

Під час дослідів, було виявлено проблему автономності, пов'язану з великою кількістю модулей. Ми знайшли альтернативний варіант будови робота, який збільшив час роботи системи, при якій функціонал робота не погіршився. Таким чином можна зробити висновок, що для збільшення автономності робота, треба шукати альтернативні варіанти будови схеми, та оптимізувати код для максимальної ефетивності.

Підбиваючи підсумки ми покращили автономні параметри робота з можливою модернізацією самої системи для її вдосконалення.

Отримані результати відіграють важливу роль у подальшому розвитку мобільних роботів у різних галузях.

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 «ΛΌГОΣ», (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.Demska, 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 ComputingFebruary 2016, Pages 418–431. https://doi.org/10.1145/2818048.2819922

Development of General Approaches for Mathematical Modelling of Heat Exchangers as Automation Objects

Igor Nevliudov[1], Oleksandr Ratushnyi[2], Yurii Romashov[3]
1. CITAR department, Kharkiv National University of Radio Electronics, UKRAINE, Kharkiv, Nauky Ave. 14, email: igor.nevliudov@nure.ua
2. CITAR department, Kharkiv National University of Radio Electronics, UKRAINE, Kharkiv, Nauky Ave. 14, email: oleksandr.ratushnyi@nure.ua
3. CITAR department, Kharkiv National University of Radio Electronics, UKRAINE, Kharkiv, Nauky Ave. 14, email: yurii.romashov@nure.ua

Abstract: This research is about development of the general approaches for mathematical modelling of heat exchange apparatus as the automation objects, so that to provide mathematical support for development of the heat processes automation systems and their components like the PID controllers for example. The principal idea of the developed approaches is in representing the heat exchanger's properties as the automation objects by means of the linear ordinary differential equation built through the parametric identification procedures of the data of computer imitations based on the mathematical modelling of the inherent internal processes. It is shown that the proposed approaches allow considering the typical automation engineering problem about defining the parameters of PID controllers. The example about the plate heat exchanger is considered under the simplest schematisation of processes, so that it allows us to imagine the technique of using the proposed general approaches.

Keywords: Automation; heat exchanger; mathematical modelling.

I. INTRODUCTION

Different kinds of heat exchangers actually are actually the widely used principal parts involved in a lot of industrial [1] and householding [2] systems, so improvement of heat exchangers is in current interests due to many reasons, and it is directed to many purposes. One of principal reasons to improve the heat exchangers is in wishes to provide the minimum of used power during the operation, because it is in the general trends directed to zeroing of carbon emissions [1, 3] from the technical systems to the environment to prevent climate changes. One of the principal ways to provide improvements for the heat exchangers is in implementation the most perfect automation systems [4–6], because exactly these systems actually control the processes during the long-term exploitation. It is really, that designing of the automation systems is principally based on mathematical modelling of processes inherent for the heat exchangers [7], so it is principally impossible to provide the improved designing development without the correspondent mathematical support. Thus, this research is in current interests due to agreement with the general modern trends in heat exchangers improvement.

Do design the suitable automation systems, it is necessary to have the correspondent mathematical models, but all they must provide representing the heat exchangers firstly as the automation objects. All times and today, the most of the existed researches are about development of the improved mathematical models of the specifical processes internally inherent for the heat exchangers. Such researchers are really very important, because the properties of the heat exchangers as the automation objects are actually the results of the internally inherent processes. At the same time, we have no today the conventional approaches allowing us to represent the properties of the heat exchangers as the automation objects through the known properties of the internally inherent processes. Thus, we have no actually the generalized approaches today for mathematical modelling of the heat exchangers exactly as the automation objects. So, the purpose of this research is in development of general approaches for mathematical modelling of the heat exchangers exactly as the automation objects. To do it, the theoretical backgrounds of the developed approaches will be discussed and the suitable example will be shown to represent them.

II. THEORETICAL BACKGROUNDS

To propose the general approaches for mathematical modelling of the heat exchangers as the automation objects, it is necessary to understand the purpose of the automation system in the context of the internally inherent processes.

Processes in any heat exchanger can be represented as the heat sharing from the heating medium to the heated medium by means the heat conduction through the dividing wall to prevent mixing of these mediums, which are usually in liquid or (and) gaseous state. The principal purpose of any heat exchanger is in utilisation of the heating medium for warming of the heated medium, which plays the role of the coolant from the heat exchange processes point of view, so we will name further this heated medium as the coolant. This purpose can be equivalently imagined as increasing the temperature T_C of the coolant from some initial value T_C^{in} to some output value T_C^{out}. Taking into account further utilisation of the coolant in some technological processes, the heat exchanger must provide the exactly given wished value T_C^{w} for the coolant output temperature T_C^{out}. It is obviously, that the coolant output temperature has changes during the operation of the heat exchanger due to different external deviations of the heat exchanging processes, so the value T_C^{out} can be imagined as the function of the time t, and we can represent it in the following view:

$$T_C^{out} = T_C^{out}(t). \quad (1)$$

The deviations of the coolant output temperature due to the relation (1) are not suitable for further utilisation of

the coolant, but it is principally impossible to exclude these deviations. Taking into account all these circumstances, it is actually possible to provide only the following approximate equality:

$$T_C^{out}(t) \approx T_C^{w}. \quad (2)$$

It is necessary to note, that the coolant is actually the moved medium having the different temperatures in all its points in general, so the temperature T_C^{out} is actually the temperature in some point chosen to have estimation about suitability of the coolant state for further utilisation. Besides, it is necessary to remember, that further utilisation requires not only the wished temperature, but also ant the necessary amount of the coolant, so the relation (2) can be provided for the given volume consumption Q_C of the coolant through the heat exchanger. Some utilisations can require the variable coolant amounts, so the equality (3) must be provided for the values Q_C changing during the time t both due to the possible requirements for further coolant utilisation and both the naturally existed deviations in the coolant suppling systems. It is naturally, that the approximate equality (2) can be realized through controlling of the processes in the heat exchanger, but it is practically impossible to influence on these processes directly. So, controlling of these processes can be only through controlling the characteristics of the heating medium, usually named as the heat carrier from the heat exchange processes point of view. The principal characteristics of the heat carrier are the inlet temperature T_H^{in} and the volume consumption Q_H through the heat exchanger. It is necessary to note complementary, that the approximate equality (2) must be in all time moments during the heat exchangers operation, but it will be really difficult to control the temperature T_C^{out} and to choose the suitable values T_H^{in} or (and) Q_H to provide the equality manually by the human operator under the different processes deviations especially in the cases if the changed value Q_C is principally required. Of course, that automation of the heat exchangers is the natural way to provide the approximate equality (2).

The noted above circumstances allow us to imagine the automation of the heat exchangers as continuous providing of the approximate equality (2) through continuous correction s of the values T_H^{in} or (and) Q_H characterizing the heat carrier under the given value Q_C of the volume consumption of the coolant. Taking into account all these, we can represent the mathematical model of the heat exchanger as the automation object by the mapping:

$$T_H^{in}(t), Q_H(t), Q_C \to T_C^{out}(t). \quad (3)$$

It is obviously, that the most general representation of the mapping (3) must be through the ordinary differential equations, and the conventional approaches will lead us the following:

$$a_n \frac{d^n T_C^{out}}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} T_C^{out}}{dt^{n-1}} + \ldots + a_1 \frac{dT_C^{out}}{dt} + a_0 T_C^{out} = \\ = b_1 T_H^{in}(t) + b_2 Q_H(t) + b_3 Q_C + b_4 T_C^{in}(t), \quad (4)$$

$$T_C^{out}(t_0) = T_{C\ 0}^{out},\ \frac{dT_C^{out}}{dt}(t_0) = T_{C\ 0}^{out(1)}, \ldots \\ \ldots, \frac{d^{n-1} T_C^{out}}{dt^{n-1}}(t_0) = T_{C\ 0}^{out(n-1)}, \quad (5)$$

where n is the order of the differential equation; a_n, a_{n-1}, …, a_0, b_1, b_2, b_3 and b_4 are the parameters of the mathematical model; t_0 is some given time moment; $T_{C\ 0}^{out}$ and $T_{C\ 0}^{out(1)}, \ldots, T_{C\ 0}^{out(n-1)}$ are the given inlet temperature of the coolant and their derivatives at the initial time moment $t = t_0$.

The mathematical model represented in the view (3), (4) allows us to consider all the principal engineering automation problems for the heat exchangers. Really, we can introduce the new variable and foresee the PID controllers

$$x(t) = T_C^{out}(t) - T_C^{w}, \quad x = \frac{d\tilde{x}}{dt}, x(t_0) = 0, \quad (5)$$

$$T_H^{in}(t) = T_H^{w} - k_p^T x - k_I^T \int x dt - k_D^T \frac{dx}{dt}, \quad (6)$$

$$Q_H(t) = Q_H^{w} - k_p^Q x - k_I^Q \int x dt - k_D^Q \frac{dx}{dt}, \quad (7)$$

where $x(t)$ and $\tilde{x}(t)$ are the coolant output temperature deviation and their integral; T_H^{w} and Q_H^{w} are the values corresponded to the coolant wished temperature T_C^{w}; k_p^T, k_I^T and k_D^T are the parameters of the PID controller for the heat carrier inlet temperature, but k_p^Q, k_I^Q and k_D^Q are the parameters of the PID controller for the heat carrier volume consumption through the heat exchanger.

Substituting the relations (5)–(7) to the mathematical model (3), (4), we will have the following:

$$a_n \frac{d^{n+1}\tilde{x}}{dt^{n+1}} + a_{n-1} \frac{d^n \tilde{x}}{dt^n} + \ldots \\ \ldots + \left(a_1 + b_1 k_D^T + b_2 k_D^Q\right) \frac{d^2 \tilde{x}}{dt^2} + \left(a_0 + b_1 k_P^T + b_2 k_P^Q\right) \frac{d\tilde{x}}{dt} + \\ + \left(b_1 k_I^T + b_2 k_I^Q\right) \tilde{x} = b_1 T_H^{w} + b_2 Q_H^{w} + b_3 Q_c - a_0 T_C^{w} + b_4 T_C^{in}, \quad (8)$$

$$\tilde{x}(t_0) = 0,\ \frac{d\tilde{x}}{dt}(t_0) = T_{C\ 0}^{out} - T_C^{w},\ \frac{d^2\tilde{x}}{dt^2}(t_0) = T_{C\ 0}^{out(1)}, \ldots \\ \ldots, \frac{d^n \tilde{x}}{dt^n}(t_0) = T_{C\ 0}^{out(n-1)}. \quad (9)$$

The mathematical model (9) allows us to define the stationary operational modes of the heat exchanger corresponded to the wished values T_C^{w} and Q_C by means the condition

$$b_1 T_H^{w} + b_2 Q_H^{w} + b_3 Q_C - a_0 T_C^{w} + b_4 T_C^{in} = 0. \quad (10)$$

Besides, defining the PID controllers' parameters can be reduced to considering the stability of the polynomial:

$$f(s) = a_n s^{n+1} + a_{n-1} s^n + \ldots + \left(a_1 + b_1 k_D^T + b_2 k_D^Q\right) s^2 + \\ + \left(a_0 + b_1 k_P^T + b_2 k_P^Q\right) s + \left(b_1 k_I^T + b_2 k_I^Q\right). \quad (11)$$

Thus, to solve the problem about automation engineering, it is suitable to represent the mathematical models of the heat exchangers as the automation objects in the view (4), (5).

As was noted above, the generalized mathematical model (4), (5) representing the heat exchanger as the automation object must reflect the results of the internally inherent processes. It is really difficult to propose the way to have the direct view of the mathematical model (4), (5) for all different kinds of the heat exchangers, but we will discuss further the common point of view on the different kinds of the heat exchangers. As was discussed above also, the wall separating the heat carrier from the coolant is the principal structural element of the heat exchangers, so that the heat transfer between the heat carrier and the coolant is due to the heat conduction through this wall (fig. 1). The shape of the wall dividing the heat carrier and the coolant actually defines the kind of the heat exchanger and their internally inherent processes.

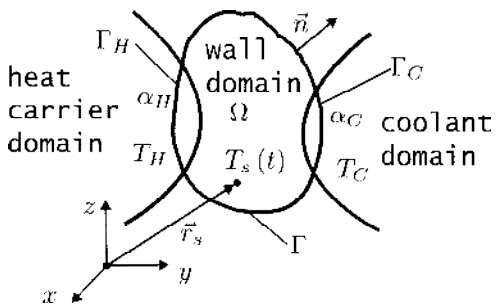


Fig.1. Heat exchanger general schematization

In general, the wall can be imagined as the set of the points with the coordinates x, y and z forming the domain Ω with the boundary Γ (fig. 1). The temperature T field in the wall must satisfy the heat conduction equation and the initial condition in all internal points of the domain Ω:

$$c\rho\frac{\partial T}{\partial t}=\lambda\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right),\ (x,y,z)\in\hat{\Omega}, \quad (12)$$

$$T(x,y,z,t_0)=T^{(0)}(x,y,z),\ (x,y,z)\in\hat{\Omega}, \quad (13)$$

where c, ρ and λ are the heat capacity, density and the heat conduction of the wall structural material; (x,y,z) is the spatial point with the corresponding coordinates; $\hat{\Omega}$ is the internal part of the domain Ω, i.e. excluding the boundary Γ; $T^{(0)}(x,y,z)$ is the temperature field at the initial time t_0.

The heat transfer between the wall and the heat carrier and between the wall and the coolant can be defined by means the correspondent boundary conditions (fig. 1):

$$\lambda\left(\frac{\partial T}{\partial x}n_x+\frac{\partial T}{\partial y}n_x+\frac{\partial T}{\partial z}n_x\right)=\alpha_H(T_H-T),(x,y,z)\in\Gamma_H, \quad (14)$$

$$\lambda\left(\frac{\partial T}{\partial x}n_x+\frac{\partial T}{\partial y}n_x+\frac{\partial T}{\partial z}n_x\right)=\alpha_C(T-T_C),(x,y,z)\in\Gamma_C, \quad (15)$$

where n_x, n_y and n_z are the component of the external unit normal vector $\vec{n}$ to the boundary Γ at the correspondent point; α_H and α_C are the heat transfer coefficients from the heat carrier to the wall and from the wall to the coolant; $\Gamma_H\subset\Gamma$ and $\Gamma_C\subset\Gamma$ are the parts of the boundary Γ having the heat interaction with the heat carrier and the coolant.

To consider the heat conduction problem for the wall, it is necessary to take into account also the boundary conditions on the others parts of the boundary Γ (fig. 1), but these complementary boundary conditions are significantly defined by the particular design of the heat exchanger, so they not discussed here.

To represent the processes in the heat exchanger, the heat conduction problem (12)–(15) must be complemented also by the heat transfer relations:

$$T_H=T_H\left(T_H^{in},Q_H,T\right),\ T_C=T_C\left(T_C^{in},Q_C,T\right). \quad (16)$$

It is necessary to note, that having the relations (16) is actually the difficult and relatively independent problem for each kind of the heart exchanger and the motions modes of the heat carrier and the coolant. In a general case these relations (16) are usually represented indirectly by means some complementary differential equations with the initial and boundary conditions like the relation (3) is represented through the initial-boundary-value problem (12)–(15). Nevertheless, the shown relations (12)–(16) give the general imaginations about mathematical modelling of the processes in the heat exchangers, but to have exactly the relation (3), we must have the following relation:

$$T_C^{out}=T_C^{out}(T_C). \quad (17)$$

The relation (17) actually defines the outlet temperature of the coolant. Thus, to have representation about the internally inherent processes in the heat exchangers, it is necessary to solve the initial-boundary value problem (12)–(15) with the additional relations (16) and (17), which is really difficult, and which require numerical methods using in general case. We will not discuss here the particularities of the numerical methods to solve the problem (12)–(17), but we will make some notes about it. The principal idea of the numerical methods application to solve the problem (121)–(17) is in using the discrete representation of the wall temperature field. To have such discrete representation, we will consider the set of predefined points of the Ω domain (fig. 1):

$$\vec{r}_s=x_s\vec{i}+y_s\vec{j}+z_s\vec{k},\ s=1,2,\ldots,n, \quad (18)$$

where $\vec{r}_s\in\Omega$ is the position vector representing the domain Ω point associated with the number s; x_s, y_s and z_s are the coordinates of the position vector $\vec{r}_s$; $\vec{i}$, $\vec{j}$ and $\vec{k}$ are the unit axis vectors defining the directions of the x, y and z axis; n is the number of the domain Ω points envisaged for the temperature field discrete representations.

The introduced points (18) allow us to have the discrete representation of the wall temperature field by means the finite set of the values:

$$T_s(t)=T(x_s,y_s,z_s,t),\ s=1,2,\ldots,n, \quad (19)$$

where $T_s(t)$ is the temperature at the point $\vec{r}_s\in\Omega$.

Of course, that to have the reliable discrete representation (19) of the temperature field in the wall, the number n of the points (18) must be enough big. The idea of the numerical methods is in representing the problem (12)–(17) through the temperatures (19), and

actually the different techniques for making such representations are corresponded to the different kinds of the numerical methods like for example widely used finite differences, semi-discretization, finite elements. The different particularities of the numerical methods using are not principal for this research, but the principal problem is in the ways for transformation of the mathematical model (12)–(17) representing the internally inherent processes in the heat exchanger to the mathematical model (4), (5) generally representing the heat exchangers as the automation objects, because we have no the conventional approaches to do it at present. It is obviously, that building the mathematical model (4), (5) is reduced to defining the parameters of this model, and it is obviously, that it is impossible to have the analytical results in general. So, in general, we can propose to build the mathematical model (4), (5) through the procedures of the parametric identification based on the computer simulations results by means the mathematical model (12)–(17) and numerical methods allowing to represent the internally inherent processes of the heat exchangers. Of course, that to do it, it is necessary to have the suitable identification procedures, but it is the relatively separate problem outside the principal purpose of this research.

III. EXAMPLE OF APPLICATION

To illustrate the proposed approaches, we will consider the example about building the mathematical model of the plate heat exchanger under the simplest schematization (fig. 2) allowing to exclude the identification procedure to have the particular view of the generalized mathematical model (4), (5) in the analytical view. The mathematical model allowing to represent the internally inherent processes under the simplest schematization of the heat exchanger with the plate as the wall (fig. 2) can be represented as:

$$c\rho\frac{\partial T}{\partial t}=\lambda\frac{\partial^2 T}{\partial x^2},\ T(x,0)=T^{(0)}(x),\ 0<x<h, \quad (20)$$

$$\alpha_H T-\lambda\frac{\partial T}{\partial x}=\alpha_H T_H^{in},\ x=0, \quad (21)$$

$$\alpha_C T+\lambda\frac{\partial T}{\partial x}=\alpha_C T_C^{in},\ x=h, \quad (22)$$

where all notations are in agreement with the relations (12)–(15) and with the fig.1 and the fig. 2.

The relations (20)–(21) are actually the particular view of the generalized relations (12)–(16). The principally required complementary relation (17) can be represented for this example in the indirect view:

$$T_C^{out}(t)=T_C^{in}-\frac{\lambda S}{c_C\rho_C Q_C}\frac{\partial T}{\partial x}(h,t), \quad (23)$$

where S is the area of the heat exchanging plane.

Let consider the generally represented points (18) in the particular view:

$$x_0=0,\ x_1=\Delta h,\ x_2=h,\ \Delta h=\tfrac{1}{2}h. \quad (24)$$

In agreement with the introduced points (24), we will have the following temperatures representing the plate temperature field:

$$T_0(t)=T(x_0,t),\ T_1(t)=T(x_1,t),\ T_2(t)=T(x_2,t). \quad (25)$$

Using the well-known finite differences technique and the introduced values (25), we can represent the relations (20)–(23) as following:

$$\frac{dT_1}{dt}=\frac{\lambda}{c\rho\Delta h^2}(T_0+2T_1+T_2), \quad (26)$$

$$\alpha_H T_0-\lambda\frac{-3T_0+4T_1-T_2}{2\Delta h}=\alpha_H T_H^{in},\ x=0, \quad (27)$$

$$\alpha_C T+\lambda\frac{3T_2-4T_1+T_0}{2\Delta h}=\alpha_C T_C^{in},\ x=h, \quad (28)$$

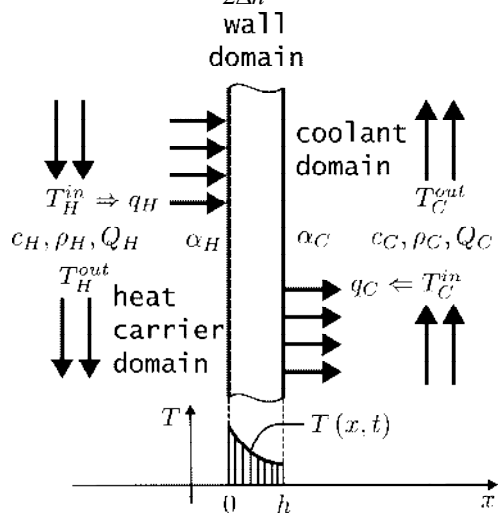


Fig.2. Heat exchanger simplest schematization

$$T_C^{out}(t)=T_C^{in}-\frac{\lambda S}{c_C\rho_C Q_C}\frac{3T_2-4T_1+T_0}{2\Delta h}. \quad (29)$$

It seems, that transferring of the relations (26)–(29) to the mathematical model (4), (5) representing the heat exchanger as the automations objects is difficult, but all these difficulties are not principal, and they are due to only the cumbersome analytical transformations. Really, the relations (27), (28) can be considered as the system of two linear algebraic equations, and these equations allow us to have the following:

$$T_0=A_1T_1+A_2T_H^{out}+A_3T_C^{out},\ T_2=B_1T_1+B_2T_H^{out}+V_3T_C^{out}, \quad (30)$$

where A_1, A_2, A_3 and B_1, B_2, B_3 are the notions for some cumbersome analytical expressions representing the solution of the considered system of two linear algebraical equations.

Further, we will take into account the relations (30) in the differential equation (26) and in the relation (29):

$$\frac{dT_1}{dt}=\tilde{A}_1T_1+\tilde{A}_2T_H^{in}+\tilde{A}_3T_C^{in}, \quad (31)$$

$$T_C^{out}=\tilde{B}_1T_1+\tilde{B}_2T_H^{in}+\tilde{B}_3T_C^{in}, \quad (32)$$

where $\tilde{A}_1$, $\tilde{A}_2$, $\tilde{A}_3$ and $\tilde{B}_1$, $\tilde{B}_2$, $\tilde{B}_3$ are the notions for some cumbersome analytical expressions, which are the results of the correspondent transformations.

The relation (32) can be equivalently represented to the following view:

$$T_1=\frac{T_C^{out}-\tilde{B}_2T_H^{in}-\tilde{B}_3T_C^{in}}{\tilde{B}_1}. \quad (33)$$

Substituting the temperature (33) to the relation (31) allows us to have the differential equation representing the heat exchanger as the automation object:

$$\frac{1}{\tilde{B}_1}\frac{dT_C^{out}}{dt}-\frac{\tilde{A}_1}{\tilde{B}_1}T_C^{out}=\left(\tilde{A}_2-\frac{\tilde{B}_2}{\tilde{B}_1}\right)T_H^{in}+\left(\tilde{A}_2-\frac{\tilde{B}_3}{\tilde{B}_1}\right)T_C^{in}+$$
$$+\frac{\tilde{B}_2}{\tilde{B}_1}\frac{dT_H^{in}}{dt}+\frac{\tilde{B}_3}{\tilde{B}_1}\frac{dT_C^{in}}{dt}. \quad (34)$$

The obtained differential equation (34) can be imagined as the particular view of the generalized mathematical model (4), (5) representing the heat exchangers as the automation object, but only with the complementary remark. Really, we can see, that the generally represented differential equation (4) not includes the derivatives of the inlet temperatures of the heat carrier and of the coolant. It illustrates as the necessity in agreement between the mathematical models representing the internally inherent processes in the heat exchanger and representing the heat exchanger as the automation object. Nevertheless, the proposed generalized mathematical model (4), (5) can be imagined at least as the approximation of the heat exchanger as the automation object, if it will be difficult to provide the agreement with the internally inherent processes in the heat exchange.

IV. Conclusions

This research gives us some noticeable results important for development of the general approaches for mathematical modelling of the heat exchangers as the automation objects. So, these results allow us to formulate the following principal conclusions.

The general approaches for mathematical modelling of the heat exchangers as the automation objects is the principal element of the mathematical maintenance required to provide improved heat exchangers designment. The linear ordinary differential equation is the most suitable form to represent the mathematical model of the heat exchangers as the automation objects, because this form allows us to solve the automation engineering problems like defining the stationary modes or designing the PID controllers parameters.

The most general approach for mathematical modelling of the heat exchangers as the automation objects can be in representing the properties of the heat exchangers as the automation objects through the properties of the internally inherent processes of the heat exchangers. Such approach can be realized by means the parametric identification procedure on the basis of the computer simulations results by using the mathematical model and numerical methods allowing to represent the processes internally inherent for the heat exchangers. The heat conduction and heat transfer are the key processes internally inherent for the heat exchangers, so computer simulations of these key processes are principally required to have the mathematical models representing of the heat exchangers as the automation objects.

The considered particular example about mathematical modelling of the plate heat exchanger under the simplest schematization shows us the principal possibility of the proposed general approach applications to build the mathematical models of the heat exchangers as the automation objects. Due to this particular example, we can see, that the mathematical model representing the heat exchanger as the automation object actually can involve also the derivatives of the control, which make the significantly difficult considering of the engineering automation problems. Besides, we can see the necessity in agreement between the mathematical models representing the internally inherent processes in the heat exchanger and representing the heat exchanger as the automation object. Such agreement will allow us to simplify significantly the identification procedure to build the mathematical model of the heat exchangers as the automation objects. In addition to all these, such agreement is principally required to exclude the items with the zero coefficients to provide the reliable identification procedure.

The continuations of this research are planned to consider the agreement between the mathematical models representing the internally inherent processes in the heat exchangers and representing the heat exchangers as the automation object. Besides, it is planned to research the parametric identification procedures to build the mathematical model representing the heat exchangers as the automation objects on the basis of the computer simulations of the processes internally inherent for the heat exchangers.

References

[1] Z. Li, Q. Wang, M. Fang, and Z. Luo, "Different cases study on the heating surface layout of a new 600 MWe coal-fired power plant coupled with CaO-based carbon capture system based on heat exchanger network", *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, vol. 172, 108787, 2022.

[2] H. Raj Singh, D. Sharma, D.K. Sharma, and S. Chadha, "Low-cost novel designed receiver heat exchanger for household solarized cooking system: development and operationalization", Materials Today: Proceedings, vol. 47 (part 11), pp. 3018-3023, 2021.

[3] D. Li, Y. Li, X. Zheng, J. Wang, and W. Sun, "Synthesis of heat exchanger network with complex phase transition based on pinch technology and carbon tax", *IFAC-PapersOnLine*, vol. 55 (is. 7), pp. 418-423, 2022.

[4] M. Al-Dhaifallah, "Fuzzy fractional-order PID control for heat exchanger", *Alexandria Engineering Journal*, vol. 63, pp. 11-16, 2023.

[5] D. Shah, A. Shah, and A. Mehta, "Higher order networked sliding mode controller for heat exchanger connected via data communication network", European Journal of Control, vol. 58, pp. 301-314, 2021.

[6] Y. Jia, T. Chai, H. Wang, and C.-Y. Su, "A signal compensation based cascaded PI control for an industrial heat exchange system", *Control Engineering Practice*, vol. 98, 104372, 2020.

[7] S. Alyokhina, I. Nevliudov and Y. Romashov, "The Feed Water Level Improved Automated Control for Steam Generators of Nuclear Power Plants", in *2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES)*, Kremenchuk, Ukraine, 2022, pp. 1-6.

Методологічні засади вибору компонентів рушійної установки мультироторних БПЛА

Олександр Малий[1], Наталія Фурманова[2], Вадим Онищенко[1], Сергій Малий[3]
1. Кафедра ІТЕЗ, Національний університет «Запорізька політехніка», УКРАЇНА,
Запоріжжя, вул. Жуковського, 64, email: docsasha2@gmail.com
2. Деканат ФІБЕК, Національний університет «Запорізька політехніка», УКРАЇНА,
Запоріжжя, вул. Жуковського, 64, email: nfurmanova@gmail.com
3 ТОВ "Авробіт", УКРАЇНА,
Запоріжжя, вул.Перемоги 2, email: serezhamymail@gmail.com

Анотація: Наведено методологію вибору компонентів рушійної установки мультировторних безпілотних літальних апаратів на безщіточних двигунах. Запропоновано порядок розрахунку проміжних та кінцевих параметрів гвинтів, двигунів, електронних контролерів швидкості та акумуляторних батарей для забезпечення заданих для мультироторного БПЛА параметрів загальної тяги та курсової та максимальної швидкості польоту.

Ключові слова: мультикоптер, БПЛА, гвинт, двигун, електронний контролер швидкості, акумуляторна батарея.

I. Вступ

Спеціальні методології для квадрокоптерів були розроблені Гатті та Джульєтті [1], Гатті [2] та Кімом та ін. [3]. Усі вони використовували статистичні методи для оцінки зв'язків між різними компонентами силового кола. На жаль, ці підходи надають занадто мало даних для належного розміру компонентів, а в деяких випадках навіть вимагають даних вибраного компонента для роботи. Тому, незважаючи на те, що вони корисні для розрахунку цільової ваги мультикоптера для застосування, вони не можуть бути використані для процесу вибору компонентів.

Незважаючи на те, що проблема не вирішується повністю, є кілька методів, які допомагають у попередньому виборі компонентів конструкції мультикоптера, у [4] представлені минулі та поточні зусилля з розробки методологій попереднього налаштування БПЛА. Вони зосереджуються як на концептуальних, так і на числових аспектах БПЛА. Однак через конфіденційний характер проектів, в роботі не вдаються в деталі внутрішньої роботи методологій.

На жаль, параметричний підхід існуючих методів вимагає значного узагальнення моделей компонентів, що зберігає середню похибку низькою, але може призвести до значних похибок для більш незвичних конфігурацій. Можна досягти подібного рівня точності за допомогою альтернативних методів із додатковими перевагами зменшення обчислювальних витрат і підвищеної гнучкості завдяки зменшенню кількості залежностей у системі.

II. Загальні засади методології

Мультикоптери як категорія літальних апаратів охоплюють безліч варіантів конструкцій, що відрізняються не тільки кількістю роторів, але і їх розташуванням. Наразі найпопулярнішою конфігурацією є квадроцикл з чотирма паралельними роторами, розташованими по діагоналі від центру. Однією з характерних властивостей більшості квадрокоптерів є їхня симетрія та той факт, що всі плечі однакові, за винятком напрямку обертання ротора. Структура такого кола наведена на рис.1.

Розгляд окремого кола полегшує аналіз силової установки для загального випадку. Польотний контролер відповідає за стратегію керування всією платформою та підготовку заданих точок для кожного плеча, але він не бере участі в колі приводу як такому.

Рис.1. Діаграма одного кола багатороторної рушійної установки

Безщіткові двигуни не мають фізичних щіток, тому для досягнення електронної комутації їм потрібні електронні контролери швидкості (ESC).

Таким чином, основними компонентами силового кола є: пропелер, двигун, ESC і акумулятор.

На рис. 1 можна побачити, що є один вхід заданого польотним контролером значення і один вихід, а саме тяга, створювана гвинтом. Таким чином, рухове коло можна ідентифікувати як систему з відкритим циклом з одним входом і одним виходом (SISO - Single Input Single Output), що дозволяє відносно легко визначати розмір компонентів по одному.

III. Методика вибору силових компонентів

У мультикоптері головною метою двигуна є надійний рух гвинта з високим прискоренням, щоб можна було швидко змінювати швидкість. Основні обмеження безщіточного двигуна стосуються швидкості та струму. Виробник часто вказує максимальний струм, а максимальну швидкість без навантаження ω0 можна розрахувати за параметром KV, помноженим на прикладену напругу V:

$$\omega 0 = KV \times V \quad (1)$$

Шляхом інвертування моделі силової установки наведеної на рис.1 можна отримати нову модель, яка дозволяє оцінити напругу батареї на основі генерованої тяги, як показано на рис. 2. Це дозволяє застосувати ітераційний підхід для визначення часу,

необхідного для виснаження батарея з постійним енергоспоживанням, що ефективно служить для оцінки часу польоту. Таким чином, у моделі системи можна виділити дві різні підсистеми: виконавчу систему та систему живлення. Це проявляється в методології визначення розміру, яка також розділена на дві частини.

Рис. 2. Діаграма кола перевернутої багатороторної рушійної установки

На рис. 3 показаний спрощений вигляд розробленої методології.

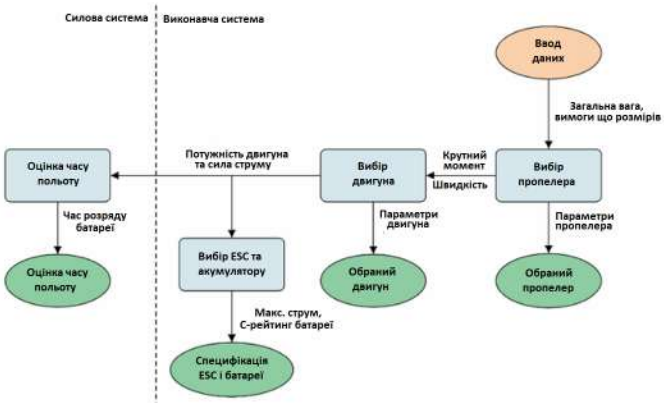


Рис. 3. Блок-схема спрощеної методології визначення розміру з поділом на дві підсистеми

Незважаючи на те, що він заснований на діаграмі що наведена на рис.3, він також показує розмежування між визначенням розміру батареї та імітацією батареї (імітацією часу польоту).

Розмір і вибір гвинта виконується спочатку, розмір двигуна залежить від властивостей гвинта, а специфікації для ESC і батареї залежати від обраної гвинтомоторної пари.

Розмір і процес вибору гвинта починається з визначення бази даних пропелерів, представленої як набір доступних гвинтів

$$P=\{p_i : i=1,\ldots,n_p\}, \quad (2)$$

де і-й пропелер pi визначено парою

$$p_i = (f_{pi}, g_{pi}), \quad (3)$$

де f_{pi} позначає продуктивність і-го гвинта, яка буде визначена пізніше, а g_{pi} позначає його фізичні властивості, виражені через чотири параметри:

$$g_{pi} = (d_i, \Theta_{pi}, m_{pi}, s_{ni}), \quad (4)$$

де d_i – діаметр і-го гвинта;
Θ_{pi} – кут нахилу і-го гвинта;
m_{pi} – маса і-го гвинта;
s_{ni} — дискретний параметр, що представляє назву серії і-го гвинта.

Потім набір пропелерів P фільтрується, щоб отримати набір пропелерів $P_p \subseteq P$, які задовольняють вимогам, що включають 4 параметри:

$$g_{pr} = (d_{min}, d_{max}, m_{pmax}, S_{nr}) \quad , \quad (5)$$

де d_{min} — мінімальний діаметр;
d_{max} — максимальний діаметр;
m_{pmax} — максимальна маса;
S_{nr} — набір бажаних назв серій:

$$S_{nr} = \{s_{nk} : k = 1, \ldots, n_s\}. \quad (6)$$

Таким чином

$$P_p=\{p_i : d_i \in [d_{min}; d_{max}], m_{pi} \in (0; m_{pmax}], s_{ni} \in S_{nr}\} \quad (7)$$

Це допомагає заощадити час під час оцінки даних продуктивності та розрахунку робочих точок, які виконуються далі.

Продуктивність і-го гвинта f_{pi} позначається як трійка біективних відображень

$$f_{pi} = (\omega \mapsto T(\omega), \omega \mapsto \tau(\omega), \omega \mapsto P_p(\omega)), \quad (8)$$

де ω – швидкість ротора;
T – тяга;
τ – крутний момент;
P_p – потужність пропелера.

Позначимо через $T_r^{(k)}$ необхідну тягу. Для кожного $p_i \in P$ визначаємо набір з n_0 робочих точок:

$$o_{pi} = \left\{o_{pi}^{(k)} : k = 1, \ldots, n_0\right\},$$

де

$$o_{pi}^{(k)} = \left(T_i^{(k)}, \omega_i^{(k)}, \tau_i^{(k)}, P_{pi}^{(k)}\right), \quad (9)$$

$$T_i^{(k)} = T_r^{(k)}, \quad (10)$$

$$\omega_i^{(k)} = T^{-1}\left(T_r^{(k)}\right), \quad (11)$$

$$\tau_i^{(k)} = \tau\left(\omega_i^{(k)}\right), \quad (12)$$

$$P_{pi}^{(k)} = P_p\left(\omega_i^{(k)}\right). \quad (13)$$

Приклад триплетів відображення для двох пропелерів показано на рис. 5 разом із ілюстрацією отримання o_{pi} з T_r.

Зазвичай обчислюється $n_0 = 2$ робочі точки: робоча точка під час висіння $o_{pi}^{(1)}$ та робоча точка широко відкритого дроселя (WOT – Wide Open Throttle) $o_{pi}^{(2)}$. Вони означають відповідно нижню та верхню межі льотно-технічних характеристик. Також може бути визначена третя робоча точка (k = 3), яка відповідає граничній швидкості гвинта, визначеній виробником; це можна використовувати для перевірки здійсненності інших робочих точок.

Вимоги до тяги, $T_r^{(1)}$ – для умов висіння та $T_r^{(2)}$ – для умов WOT, можна розрахувати за допомогою наступних виразів:

$$T_r^{(1)} = \frac{W_{total}}{n_{rot}}, \quad (14)$$

$$T_r^{(2)} = r_T \times T_r^{(1)}. \quad (15)$$

де W_{total} — розрахована загальна вага мультиротора;
n_{rot} – кількість роторів;
r_T – відношення тяги до ваги.

За винятком набору фільтрації гвинта (і двигуна), методологія використовує лише загальну розрахункову вагу квадрокоптера, оскільки передбачається, що рама, розмір батареї, корисне навантаження та модулі керування попередньо вибрані з доступних користувачеві та підходять для застосування. Оскільки враховуються лише статичні умови (інерція квадрокоптера не враховується), ваги цих компонентів є менш важливими на відміну від розрахункової ваги гвинтів, двигунів і ESC, які множаться на кількість роторів.

$$Wtotal = nrot(Wprop + Wmotor + WESC) + Wframe + Wbattary + Wpayload + WFC + Wother \quad (16)$$

На практиці через те, що характеристики гвинта, визначені у (8), часто надаються у формі вибіркових точок, для розрахунків необхідно використовувати інтерполяцію. Це створює помилки. Тому, хоча в теорії $P_p = \tau\omega$, часто на практиці (залежність від k вилучено для простоти позначення)

$$P_{pi} \neq \tau_i \omega_i, \quad (17)$$

тому береться середнє значення цих двох значень:

$$P_{pi_{avg}} = \frac{1}{2}\left(P_{pi} + \tau_i \omega_i\right). \quad (18)$$

Для вибору пропелера доступні різні критерії вибору. Якщо $n_0 > 1$, визначення рішення щодо мінімальної потужності є багатоцільовою проблемою, і певна взаємодія з користувачем тоді допоможе зробити вибір. Однак часто можна звести проблему до найпростішого випадку для $n_0 = 1$, де найменша потужність у робочій точці висіння може бути обчислена наступним чином:

$$P_{selected} = \arg\min_{p_i \in P_p} P_{pi_{avg}}^{(1)}. \quad (19)$$

У цьому випадку мінімізацію можна швидко здійснити шляхом вичерпного пошуку завдяки малому розміру набору через фільтрування на попередніх кроках.

Вибір двигуна проводиться подібним чином, як і для гвинта, нехай M буде набором доступних двигунів:

$$M = \{m_j = (f_{mj}, g_{mj}) : j = 1, \ldots, n_m\}, \quad (20)$$

де f_{mj} модель двигуна, що описується трійкою відображень:

$$f_{mi} = (I \mapsto P_m(I), I \mapsto P_e(I), (P_m, P_e) \mapsto \eta(P_m, P_e)), \quad (21)$$

де I – струм;
P_m – механічна потужність;
P_e – електрична потужність,
η — ефективність.

Параметр g_{mj} позначає властивості двигуна, виражені через три параметри:

$$g_{mj} = (I_{max}, \omega_0, m_{mj}), \quad (22)$$

де I_{max} – максимально допустимий струм j-го двигуна;
ω_0 – його максимальна швидкість j-го двигуна без навантаження;
m_{mj} — маса j-го двигуна.

На відміну від процесу вибору гвинта, спочатку необхідно оцінити характеристики двигунів. Потрібна потужність двигуна встановлена як $P_r = P_{P_{selected}}^{(1)}$. Далі для кожного m_j є M ми визначаємо n_0 триплетів робочих точок двигуна:

$$o_{mi}^{(k)} = \left(I_i^{(k)}, P_{ei}^{(k)}, \eta_i^{(k)}\right), \quad (23)$$

де (залежність від k видалено для простоти):

$$I_j = P_m^{-1}(P_r), \quad (24)$$

$$P_{ej} = P_e(I_j), \quad (25)$$

$$\eta_j = \eta(P_r, P_{ej}). \quad (26)$$

Відображення $I \mapsto P_m(I)$ не є однозначним з точки зору характеристик двигуна, оскільки при високих значеннях струму більша частина енергії розсіюється у вигляді тепла. Однак, враховуючи область лише до максимального струму, зазначеного виробником, функція майже завжди монотонна.

Тому на практиці над доменом $[0; I_{max_j}]$ обернена до степеневої функції P_m^{-1} майже завжди може бути оцінена.

Знання o_{mj} для всіх m_j є M дозволяє .фільтрувати набір двигунів щодо максимального струму, швидкості та маси, таким чином отримуючи $M_p \subseteq M$, що задовольняє вимоги до максимального струму для кожного двигуна $I_j \leq I_{max}$ і парі вимог

$$y_{cw} = \left(\omega_{max}, m_{m_{max}}\right), \quad (27)$$

де $\omega_{max} = \omega_{selected}^{(2)}$ – це швидкість гвинта при WOT;
$m_{m_{max}}$ – максимальна маса двигуна.
Таким чином,

$$M_p = \left\{m_j : I_j \leq I_{max_j}, \omega_{0j} \geq \omega_{max}, m_{mj} \leq m_{m_{max}}\right\}. \quad (28)$$

Як і у випадку з пропелером, для вибору двигуна можна використовувати різні критерії вибору. У простому прикладі для $n_0 = 1$ це може бути найменша електрична потужність

$$m_{selected} = \arg\min_{m_j \in M_p} P_{ej}^{(1)} . \quad (29)$$

Повторна операція фільтрації в (28) дає можливість використовувати вичерпний пошук для цілей мінімізації.

Вибір електронного регулятора швидкості в основному залежить від максимального струму, який він може витримати. Оскільки передбачається, що мультиротор ніколи не потребуватиме більшої тяги, ніж досягається в робочій точці WOT, струм також не повинен перевищувати розрахункове значення. Тому можна сказати, що

$$I_{ESC} = I_{selected}^{(2)}, \quad (30)$$

де I_{ESC} — це номінальний (максимальний) струм ESC, а вибраний $I_{selected}^{(2)}$ — струм двигуна в робочій точці WOT.

Для оцінки часу польоту користувач має надати значну частину специфікації батареї. Однак методологія дозволяє завершити специфікацію батареї шляхом визначення розміру параметра C-рейтингу

$$r_C = \frac{I_{ESC} \times n_{rot}}{C}, \quad (31)$$

де r_C — мінімально необхідний рейтинг C батареї, C — ємність батареї.

Вся методологія визначення розмірів виконавчої системи зображена на діаграмі потоку даних (рис. 4). Вона показує залежність розміру двигуна від специфікації гвинта та розміру ESC і батареї від специфікації двигуна. Світло-блакитні блоки відповідають етапам методології, темно-сині блоки показують вимоги та обмеження, а рожеві еліпси позначають точки доступу до бази даних. Вихідні дані в зелених еліпсах містять параметри специфікації для визначення розмірів усіх основних компонентів силової установки (а саме гвинта, двигуна, ESC та батареї), а також розрахованих робочих точок гвинта та двигуна, які можна використовувати для розрахунку додаткових даних, таких як розрахунковий час польоту. Дані, що відповідають кожному з виходів, можна знайти в табл. 1.

На рис. 4 також можна побачити значний вплив розрахункової загальної ваги дрона — він використовується для розрахунку необхідної тяги Tr, яка відіграє ключову роль у виборі гвинта, а отже, і двигуна. Через дискретну природу параметрів гвинта та двигуна зв'язок дуже нелінійний, тому його потрібно аналізувати чисельно. Однак методологію легко реалізувати в циклі, щоб побудувати графік залежності часу польоту від ваги, який можна використовувати в додатку визначення розміру корисного навантаження.

Таблиця 1 – Дані в результатах методології

Назва специфікації	Містяться дані
Специфікація гвинта	Назва; діаметр d; крок Θ_p; серія s_n
Специфікація двигуна	Назва; рейтинг KV; номінальна швидкість $\omega_{selected}^{(2)}$; номінальний крутний момент $\tau_{selected}^{(2)}$; номінальна механічна потужність $P_{m_{selected}}^{(2)}$; номінальний електрична потужність $P_{e_{selected}}^{(2)}$; номінальна ефективність $\eta_{selected}^{(2)}$; номінальна напруга V
Специфікація ESC	Максимальний струм I_{ESC}
Специфікація акумулятора	розмір клітинки n_C; мінімальний C-рейтинг r_C; ємність C

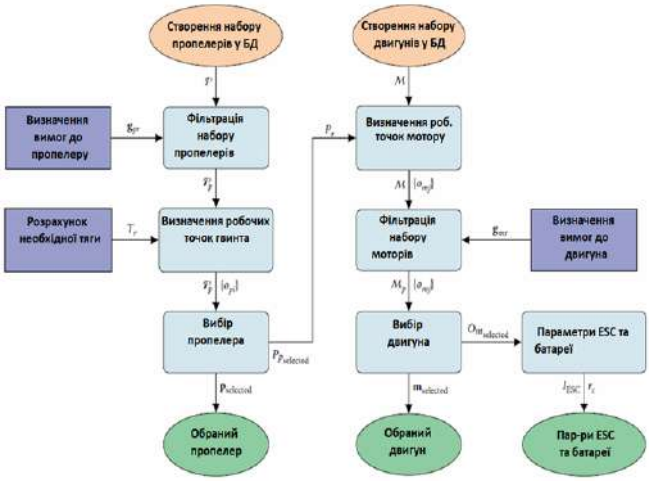


Рис. 4. Діаграма потоку інформації методології

Розділ системи живлення розробленої методології зосереджений на оцінці часу польоту шляхом моделювання батареї. Модель базується на ітераційному підході, представленому Траубом [5]. Він має два важливі явища: зменшення ємності зі збільшенням струму та падіння напруги через розряд. Крім того, потреба в потужності може змінюватися протягом моделювання; однак у базовій версії методики це не використовується, оскільки робочі точки постійні. Блок-схему розрахунків для однієї робочої точки можна побачити на рис. 5.

Моделювання ємності батареї, що змінюється залежно від споживаного струму, виконується за допомогою модифікованого рівняння Пейкерта у формі:

$$t = \frac{Rc}{i^n}\left(\frac{C}{Rc}\right)^n, \quad (32)$$

де Rt — це тривалість роботи батареї в годинах (1 година у випадку малих упаковок), а n — константа Пейкерта (1,3 для LiPo), що залежить від типу батареї та температури.

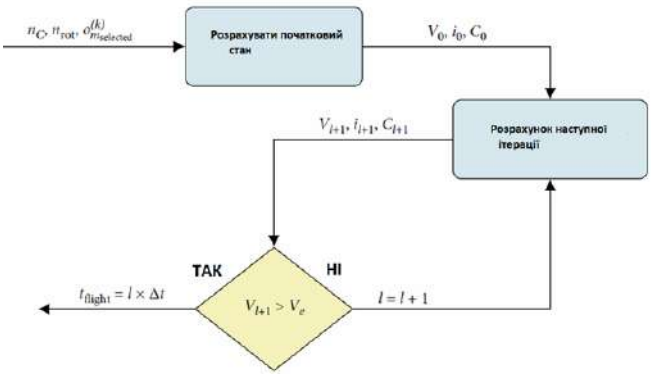


Рис.5. Діаграма розрахунку енергосистеми для k-ї робочої точки

.

Вимірювання напруги акумулятора є одним із основних способів прямого вимірювання залишкового заряду. Як правило, літій-полімерні (LiPo) елементи, які використовуються в дронах, мають 4,2 В при повному заряді та падають до 3,7 В при заряді 20%. Крива падіння напруги є нелінійною, але для моделі вона була лінеаризована та виражена через

$$V(t) = V_0 - k_l[C_0 - C(t)], \tag{33}$$

$$k_l = \frac{4.2V - 3.7V}{DoD \times C_0 \times n_C}, \tag{34}$$

де V_0 — початкова напруга;
k_l — коефіцієнт падіння напруги;
C_0 – початкова ємність акумулятора;
DoD — максимальна глибина розряду,
n_C — кількість елементів акумулятора.

На основі Трауба [15] модель батареї можна визначити за допомогою набору ітераційних рівнянь

$$V_{l+1} = V_0 - k_l[C_0 - C_l], \tag{35}$$

$$i_{l+1} - \frac{P_e}{V_{l+1}}, \tag{36}$$

$$C_{l+1} = i_{l+1}^{1-n} R t^{1-n} C^n - \sum^{l+1} i_m \Delta t, \tag{37}$$

з початковим станом, визначеним як

$$V_0 = 4.2V \times n_C, \tag{38}$$

$$i_0 = \frac{P_e}{V_0}, \tag{39}$$

$$C_0 = i_5^{1-n} R t^{1-n} C^n. \tag{40}$$

З плином часу напруга зменшується, отже, збільшується споживання струму для досягнення тієї ж потужності та послідовно зменшується доступна ємність батареї через ефект Пейкерта. Моделювання припиняється, коли напруга досягає

$$V_e = 3.7V \times n_C, \tag{41}$$

або коли потужність досягає 20% від початкової потужності (працює, лише коли споживана потужність є постійною). Результатом є просто час моделювання, розрахований як добуток значення кроку часу та кількості ітерацій.

V. Висновки

Запропонована модель вибору компонентів силової установки застосовна лише в статичних умовах і при постійній швидкості. Моделювання квадрокоптера в польоті набагато складніше через наявність аеродинамічних ефектів, таких як змінний кут атаки (тангаж), зменшення коефіцієнта тяги з випередженням і додатковий опір рами. Однак наближення необхідної продуктивності для повної керованості в польоті здійснюється за допомогою моделі лише в статичних умовах експлуатації. Він використовує стан рівноваги, досягнутий під час висіння (за безвітряних умов), коли тяга, створювана гвинтами, дорівнює вазі мультикоптера. Цю тягу можна помножити на постійне співвідношення тяги до ваги, щоб досягти значення статичної тяги, яке гарантує конкретні характеристики в повітрі залежно від застосування. Цей підхід виглядає неточним; однак, протягом багатьох років використання подібних методів у спільноті радіокерованих авіамоделістів, значення співвідношення тяги до ваги, необхідні для різних застосувань, були підтверджені багатьма випробувальними польотами.

Перелік посилань

[1] M. Gatti and F. Giulietti, “Preliminary design analysis methodology for electric multirotor,” International Federation of Automatic Control Proceedings Volumes, vol. 46, no. 30, pp. 58–63, 2013.
[2] M. Gatti, “Complete preliminary design methodology for electric multirotor,” Journal of Aerospace Engineering, vol. 30, no. 5, p. 9, 2017.
[3] M. Kim, H. Joo, and B. Jang, “Conceptual multicopter sizing and performance analysis via component database,” in 2017 Ninth International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN), vol. 7, pp. 105–109, IEEE, Milan, Italy, 2017.
[4] P. M. Basset, A. Tremolet, and T. Lefebvre, “Rotary wing UAV pre-sizing : past and present methodological approaches at Onera,” Aerospace Lab, vol. 8, pp. 1–12, 2014.
[5] O. Liang, “How to choose motor for racing drone & quadcopter,” 2019, https://oscarliang.com/quadcopter-motor-propeller/.

Наукове видання

Ігор НЕВЛЮДОВ,
Владислав ЄВСЄЄВ,

VII Міжнародна Конференція
«Виробництво & Мехатронні Системи»

(укр., англ. мовою)

Відповідальний редактор – Невлюдов І.Ш.

Харківський національний університет радіоелектроніки
Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (КІТАР)
61166, Харків, проспект Науки, 14
корпус "А"
ауд. 162-1
тел .: +38 (057) 702-14-86
e-mail:m_ms@nure.ua

Підписано до друку 16.10.2023
Формат А4 (210х297мм). Папір 80г/м^2 .
[електронній друк]