

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 САД системах); робототехніці та засобах інтелектуалізації; MEMS (сучасних матеріалів та технологіях виготовлення MEMS) та компонентах і технологіях автоматизації видобутку, переробки та транспортування нафти та газу.

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

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

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

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

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

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

МАТЕРІАЛИ

VII-ої Міжнародної Конференції

ВИРОБНИЦТВО & МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ 2022

(19-20 жовтня 2023)
Харків, Україна

ОРГАНІЗАТОРИ



Міністерство
освіти і науки
України

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



NURE
Kharkiv National University
of Radioelectronics

Харківський національний університет
радіоелектроніки (ХНУРЕ)

Kharkiv National University of Radioelectronics



**WARSAW UNIVERSITY
OF LIFE SCIENCES
- SGGW**

Варшавський університет сільського
господарства (WULS - SGGW)

Warsaw University of Life Sciences WULS - SGGW



Азербайджанський державний університет
нафти і промисловості

Azerbaijan State Oil and Industry University



Festo Didactic Україна

Festo Didactic Ukraine



ТОВ «Науково-виробниче підприємство
«УКРІНТЕХ»»

Research and Production Enterprise
"UKRINTECH" Ltd



Національний університет «Львівська
політехніка»

National University Lviv Polytechnic

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

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



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

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



Jabil Circuit Ukraine Limited

КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

МІЖНАРОДНИЙ ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

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

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

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

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

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

ЗМІСТ

Vladyslav Yevsieiev

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

Medovkin Mykhailo, Puhach Hanna

The development of a cryptographically secure pseudorandom number generator 15

Svetlana Sotnik, Anton Andreiev

QR codes in production 19

Софія Хрустальова, Світлана Вишванюк

Розроблення структурної схеми модуля автоматизації на базі RFID – технологій 22

Владислав Заїкін

Моделювання пошуку вибухонебезпечних предметів методом електромагнітної спектроскопії та радіолокації 26

Karetyna Stetsenko

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

Svitlana Maksymova, Mykhailo Akopov

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

Сергій Новоселов, Єгор Волков

Завдання автоматичного керування рухом мобільної платформи з застосуванням законів автоматички 36

Сергій Новоселов, Ігор Гладков

Сучасний промисловий інтернет речей та хмарні технології 40

Дмитро Гурін

Вирішення задачі зворотної кінематики для рухливих кінцівок роботехнічної платформи 43

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

Ілля Лисенко, Леонід Іванов

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

Редько Денис, Дмитро Янушкевич

Аналіз конструкції маніпуляторів роботехнічних пристроїв для переміщення вибухонебезпечних предметів 84

Дмитро Янушкевич, Леонід Іванов, Ігор Толкунов

Комплексний підхід до застосування робототехнічних комплексів у сфері гуманітарного розмінування 88

Viacheslav Korotkov, Igor Nevliudov, Yurii Romashov

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

Oleksandr Narozhnyi, Yurii Romashov

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

Наталія Демська, Юрій Ромашов, Артем Шевченко

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

І. В. Жарікова

Автоматичний пристрій для збору вторинної тари з алюмінію та поліетилентерефталату 110

Доронін Павло, Леонід Іванов

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

Фарзуллаєв Рашад, Леонід Іванов

Необхідність контролю вихідного сигналу з бортового перетворювача напруги для електротранспорту 116

Сергій Новоселов, Дмитро Шестак

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

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

Способи удосконалення модуля автоматичного управління перетворювача напруги блоку живлення електроробочара

Дмитро Лобанов¹, Леонід Іванов¹

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 електроробочара. 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, електроробочар.

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].

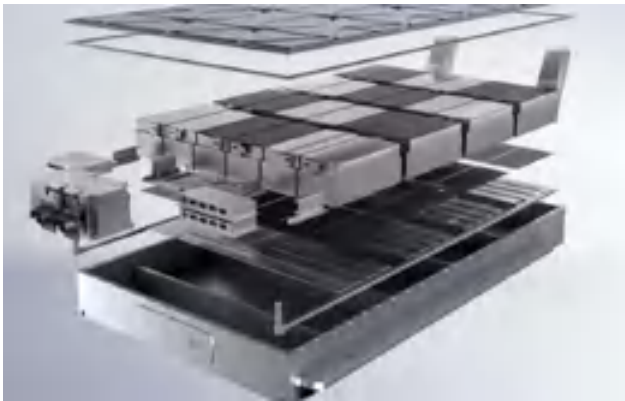


Рисунок 1. Сучасний блок живлення для електроробочарів фірми Aiways (КНР)

На рис.1 представлений зовнішній вигляд сучасної акумуляторної батареї (АКБ), яка використовується у якості блоку живлення для сучасних електроробочарів. 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 розташовується 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 перетворення напруги наведено на рис.2.

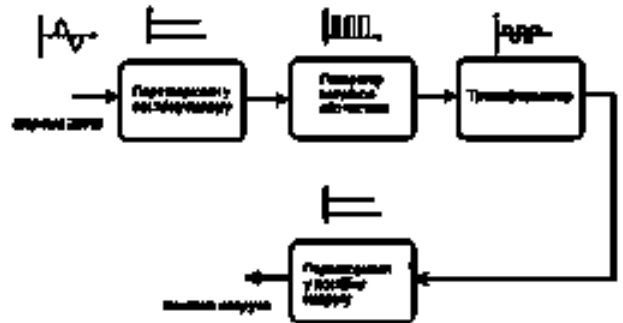


Рисунок 2. Функціональна схема простого перетворювача напруги

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 електроробочара 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 електроробочара. 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 електроробочарів 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 електроробочару 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 CO₂ 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 електроробочарів у сучасному електричному транспорті.

III. Інтеграція модуля

Діагностика та моніторинг є важливою частиною модуля автоматичного управління перетворювача напруги блоку живлення електроробочара. 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 електроробочара загалом.

IV. Інтеграція системи

Інтеграція системи управління є важливою частиною розробки та удосконалення модуля автоматичного управління перетворювача напруги блоку живлення електроробочара. Ця інтеграція дозволяє забезпечити взаємодію модуля з іншими компонентами та системами електроробочара. 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 збере-

ження та використання втраченої енергії при гальмуванні та сповільненні.

– оптимальне керування процесами зарядки та розрядки батарей електроробочара.

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 електроробочара.

– 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 електроробочарові 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 електроробочаром, 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 Лисенко¹, Леонід Іванов¹

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 ківським 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 тролейбуса 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 тролейбуса 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 заряджання або стояння.

5. Холодильні пластини:

Фазово-змінні матеріали можуть використовуватися для поглинання та віддачі тепла, допомагаючи 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 забезпеченні 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 «Форкліфт Сервіс» [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://fsua.com.ua/akumulyatori/>. Буклет характеристик «ТАВ traction batteries».

Аналіз конструкції маніпуляторів робототехнічних пристроїв для переміщення вибухонебезпечних предметів

Редько Денис¹, Дмитро Янушкевич²

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 робототехнічного 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, робототехніка, 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 знала 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 конкретизація 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 плаваючі. 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 протипіхотними 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, складання 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 уникненні 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 професійній, надійній, безпечній та ефективній 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 пристрою

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 відеокamera 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 помістатися 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 стиснення 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 захвату 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 вийнятному стані.

V. Висновки

В даному матеріалі проведено аналіз актуальності розробки конструкції маніпулятора робототехнічного 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] Nevludov 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 strength: 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.sdractical.com/Robots/SDRT_Bulldog.php.

Комплексний підхід до застосування робототехнічних комплексів у сфері гуманітарного розмінування

Дмитро Янушкевич¹, Леонід Іванов², Ігор Толкунов³

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 найзамінованиших країн у світі. І тому важливо необхідні креативні підходи до розв'язання питань гуманітарного 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 м² 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 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-, тепlopостачання, 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, мультиспектральних камер, хімічних сенсорів і металошукачів.

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

Роботи по створенню робототехнічних комплексів 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. Найвні 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].

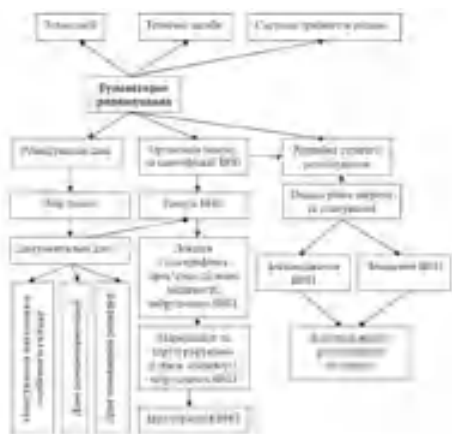


Рис.1. Складові системи гуманітарного розмінування

Гуманітарне розмінування у першу чергу спрямоване на зменшення шкідливого фактору дії ВВП 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 ВВП.

Вибухонебезпечні предмети – вибухові матеріали, боеприпаси, що містять вибухові речовини, а також біологічні та хімічні речовини: бомби і боеголовки; керовані і балістичні ракети; артилерійські, мінометні, ракетні боеприпаси і боеприпаси до стрілецької зброї; усі міни, торпеди і глибинні бомби; протехнічні 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 ВВП 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 ВВП [4].

Виявлення ВВП означає їх пошук та ідентифікацію у відповідності з їх демаскуючими ознаками. Демаскуючі ознаки ВВП 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 ВВП;

- неоднорідності середовища, де розміщений ВВП (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 ВВП.

Отже, ВВП можна виявляти за рахунок трьох факторів:

- наявності зосередженої маси вибухової речовини;
- характерна конструкція мін та ВВП (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 ВВП та очищення районів ведення бойових дій
4-й етап	Утилізація (знищення, знешкодження) ВВП
5-й етап	Контроль якості розмінування та передача територій, забруднених ВВП користувачам

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

Метою проведення нетехнічного обстеження є класифікація за статусом безпеки території, стосовно якої існує підозра щодо її забруднення ВВП 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 ВВП;
- карти мінних полів і територій ведення бойових дій;
- тощо.

За результатами проведення НТО класифікується за статусом безпеки, 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 поверхнєве 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 ВВП 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 ВВП (вилучення підривників з ВВП, вилучення ВВП з місця встановлення), спрямовані на приведення вибухонебезпечного предмета у безпечний стан, що виключає можливість його ненавмисного вибуху.

Знищення вибухонебезпечного предмета – переведення ВВП у неідеальний (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 проектів 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 рівні 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 – ОСУ) 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 ОСУ, 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 ОСУ 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 застосування 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 розрізною 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» АЕРТ-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 Черняхівського № 2(66). – 2019.– С. 115-119.

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

Viacheslav Korotkov¹, Igor Nevludov², Yurii Romashov³

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.nevludov@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

$$\omega = \omega(t), \quad u = u(t), \quad (1)$$

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:

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

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

where n is the order of the differential equation; $a_n, a_{n-1}, \dots, a_0, b_0$ are the parameters of the mathematical model; t_0 is some given time moment; ω_0 and $\omega_0^{(1)}, \dots, \omega_0^{(n-1)}$ 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 their automation object, and as the results of this we will have:

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

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:

$$a_n \frac{d^n x}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} x}{dt^{n-1}} + \dots + (a_1 + b_0 k_D) \frac{dx}{dt} + (a_0 + b_0 k_P) x + b_0 k_I \int x dt = b_0 \hat{u} - a_0 \hat{\omega}. (7)$$

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:

$$a_n \frac{d^{n+1} \tilde{x}}{dt^{n+1}} + a_{n-1} \frac{d^n \tilde{x}}{dt^n} + \dots + (a_1 + b_0 k_D) \frac{d^2 \tilde{x}}{dt^2} + (a_0 + b_0 k_P) \frac{d\tilde{x}}{dt} + b_0 k_I \tilde{x} = b_0 \hat{u} - a_0 \hat{\omega}. (9)$$

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:

$$a_n \frac{d^{n+1} \tilde{x}}{dt^{n+1}} + a_{n-1} \frac{d^n \tilde{x}}{dt^n} + \dots + (a_1 + b_0 k_D) \frac{d^2 \tilde{x}}{dt^2} + (a_0 + b_0 k_P) \frac{d\tilde{x}}{dt} + b_0 k_I \tilde{x} = 0, (11)$$

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

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:

$$f(z) = a_n z^{n+1} + a_{n-1} z^n + \dots + (a_1 + b_0 k_D) z^2 + (a_0 + b_0 k_P) z + b_0 k_I = 0. (13)$$

We have a lot of different well-known criteria allowing us to formulate the system of inequations for the values $a_n, a_{n-1}, \dots, a_0, b_0$ 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 $a_n, a_{n-1}, \dots, a_0, b_0$ 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:

$$W(s) = \frac{s}{a_n s^{n+1} + \dots + (a_1 + b_0 k_D) s^2 + (a_0 + b_0 k_P) s + b_0 k_I}. \quad (14)$$

Thus, having the parameters n and $a_n, a_{n-1}, \dots, a_0, b_0$ 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 $a_n, a_{n-1}, \dots, a_0, b_0$ 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 to find the parameters n and $a_n, a_{n-1}, \dots, a_0, b_0$ 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. From 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:

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

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

where n is number of freedom degrees, and $k = 1, 2, \dots, n$; q_k and \dot{q}_k are the generalized coordinates; 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:

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

where $\omega(q_1, \dots, q_n, \dot{q}_1, \dots, \dot{q}_n)$ 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 $a_n, a_{n-1}, \dots, a_0, b_0$ 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 identification 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:

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

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:

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

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:

$$J \ddot{q}_1 = -B \dot{q}_1 + B_e \dot{q}_2, \quad L_e \ddot{q}_2 = -B_e \dot{q}_1 - R_e \dot{q}_2 + u, \quad (20) \\ q_1(t_0) = \varphi_e^{(0)}, \quad \dot{q}_1(t_0) = \omega_e^{(0)}, \quad q_2(t_0) = \kappa_e^{(0)}, \quad \dot{q}_2(t_0) = I_e^{(0)}, \quad (21)$$

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 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:

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

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:

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

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:

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

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

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

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:

$$f(z) = a_2 z^3 + (a_1 + k_D) z^2 + (a_0 + k_P) z + k_I. \quad (26)$$

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:

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

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

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

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:

$$(a_1 + k_D)(a_0 + k_P) - a_2 k_I > 0 \quad (29)$$

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 specific 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 here 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 Narozhnyi¹, Yurii Romashov²

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:

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

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:

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

where α_k^{\min} and α_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:

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

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:

$$\frac{d\mathbf{x}}{dt} = \mathbf{f}(t, \mathbf{x}; \mathbf{u}(t); a_1, a_2, \dots, a_{N_\alpha}), \quad \mathbf{x}(t_0) = \mathbf{x}_0, \quad (4)$$

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

count of such parameters; t_0 and \mathbf{x}_0 are 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:

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

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 us more than 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:

$$a_k = a_k(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{N_a}), \quad k = 1, 2, \dots, N_a, \quad (6)$$

where $a_k(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{N_a})$ 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 chosen 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:

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

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:

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

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:

$$a_k(t) = a_k(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{N_a}), \quad k = 1, 2, \dots, N_a. \quad (9)$$

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:

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

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:

$$S = S(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{N_a}; t), \quad (11)$$

where $S(\dots)$ 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:

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

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:

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

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:

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

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

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

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

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

$$\sum_{j=1}^{N_\alpha} A_{ij} \alpha_j = \beta_i(t), \quad i = 1, 2, \dots, N_\alpha. \quad (17)$$

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

$$\alpha_k(t) = \sum_{j=1}^{N_\alpha} A_{kj}^{-1} \beta_j(t), \quad k = 1, 2, \dots, N_\alpha, \quad (18)$$

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:

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

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

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:

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

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

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 its 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 at 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):

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

Thus, in the view (23) we have the simplest 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 easily by means of 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 easily, 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:

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

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

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

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

inequality $N_a < N_a$. 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 or sixth relation from (25). Thus, the considered example allows to show that 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 electromechanical 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. Nevludov, 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 Демська¹, Юрій Ромашов², Артем Шевченко³

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 електроприводу 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.

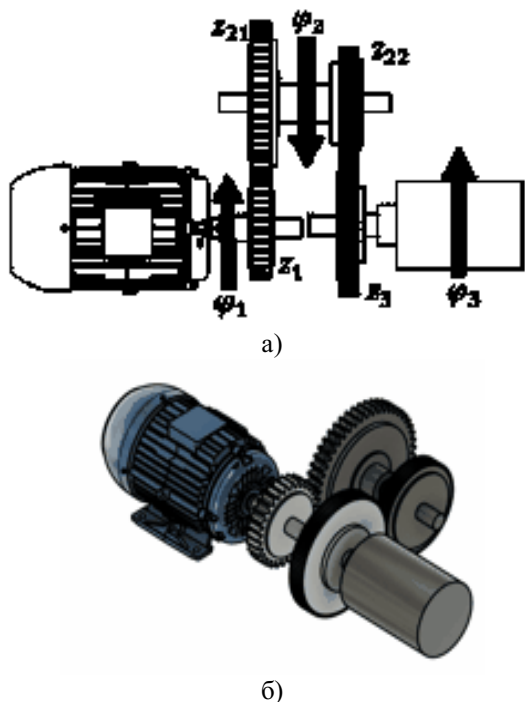


Рис.1. Схематичне зображення (а) та загальний вигляд (б) ключових деталей промислового електроприводу

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:

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

де n – кількість узагальнених координат системи; q_k та \dot{q}_k , $k = 1, 2, \dots, n$ – 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 , $k = 1, 2, \dots, n$ – узагальнені сили системи, що не є потенційними, дисипативним та гіроскопічними.

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

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

де t_0 – заданий момент часу; $q_k^{(0)}$ та $\dot{q}_k^{(0)}$, $k = 1, 2, \dots, n$ – 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, q
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 звільнити 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:

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

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):

$$q_2 = \kappa, \quad \kappa = \int I(t) dt, \quad (5)$$

де κ 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:

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

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.

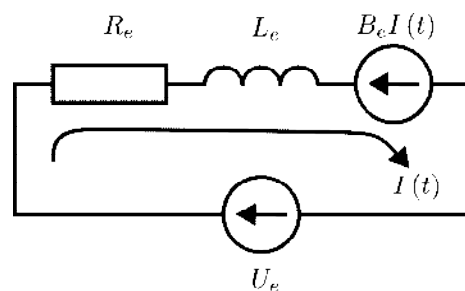


Рис. 2. Еквівалентна електрична схема електричного двигуна постійного струму

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:

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

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:

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

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

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

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

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

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:

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

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:

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

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

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:

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

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

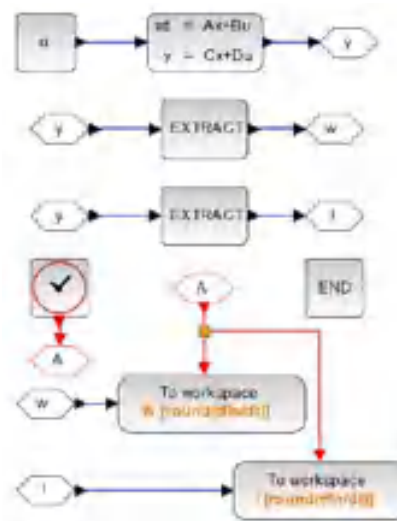


Рис. 3. Комп'ютерна модель процесів, що відбуваються в досліджуваному електроприводі

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 зменшуються до деяких усталених значень, які відповідні поданій напрузі живлення. Можемо зробити висновок (рис. 4) про те, що величина миттєво поданої напруги живлення майже не 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.

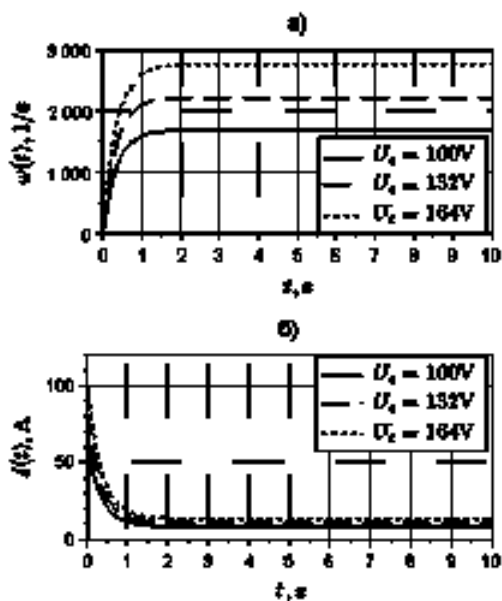


Рис. 4. Результати комп'ютерного моделювання кутової швидкості (а) та струму ротору електричного двигуна (б) на перехідному режимі запуску електропривода

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 вагомні 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. Neviudov, 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 призначення. Описано принцип дії та конструкцію автомату, які відповідають вимогам до реалізації концепції розумних міст.

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

I. Вступ

Питанням розробки засобів автоматизації різних галузей виробництва та діяльності суспільства, які б забезпечували суттєву економію різних видів ресурсів, присвячено багато досліджень 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].

II. 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 проектування 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.

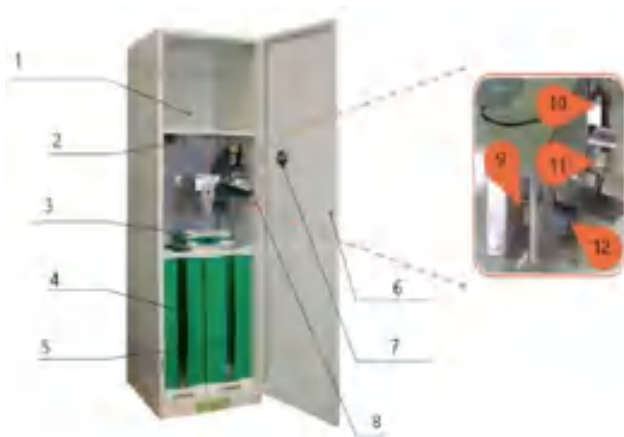


Рис.1. Фандомат ARB-180



Рис.2. Фандомат Incom Tomra [11]

Особливості:

- наявність сенсорного дисплею діагоналю 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 емнісним датчиком близькості, потім інфрачервоним фотоелектричним датчиком і, нарешті, перевіряється датчиком ваги тензодатчиком. Після цього користувач отримає винагороду на основі ваги та матеріалу тари.

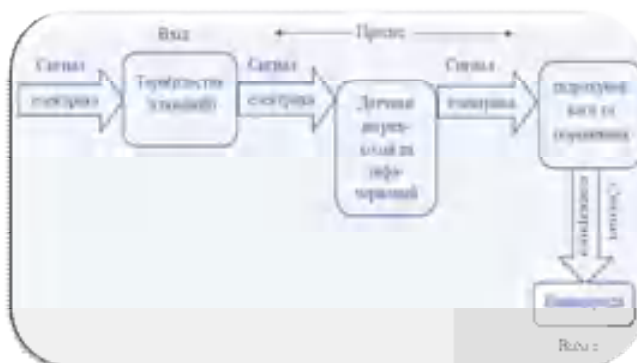


Рис.3. Блокова діаграма роботи автоматичного пристрою

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 тензореzystора.

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.

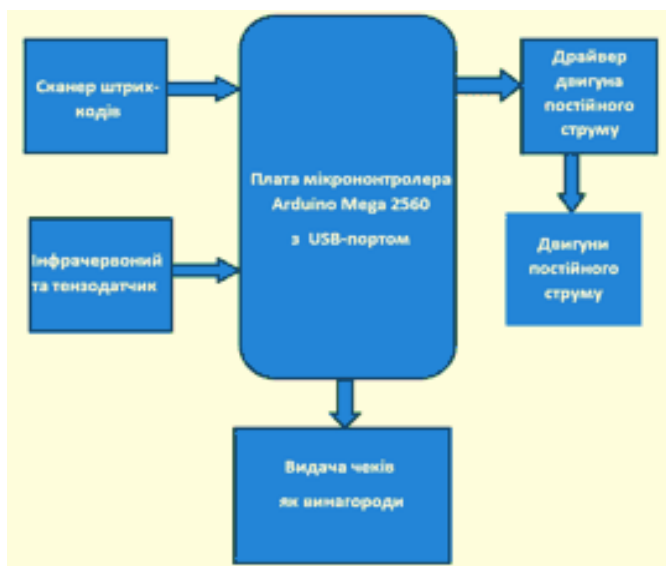


Рис.4. Схема передавання даних у фаноматі

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 фаномату 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 поліетиленерефталату 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 Андрієву.

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] Жарікова І. В. Інтелектуальна система управління освітленням на базі пьезоелемента / І. В. Жарікова, А. С. Боцман. // Радиотехніка. – Харків. – 2015. – № 1 (180) – С. 102-105.
- [7] Фаномати – автомати по прийому ПЕТ-пляшок [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://auc.org.ua/ideya/fandomaty-avtomaty-priyomu-pet-plyashok>.
- [8] Фаномати – автомати по прийому ПЕТ-пляшок [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.urbanua.org/dosvid/zakordonni-ryklady/126>.
- [9] Фаномати, 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 Павло¹, Леонід Іванов¹

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 PTS-12 виробляється 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 однієї — двох годин

батарея повністю заряджається і транспортний засіб може подолати таку ж відстань.

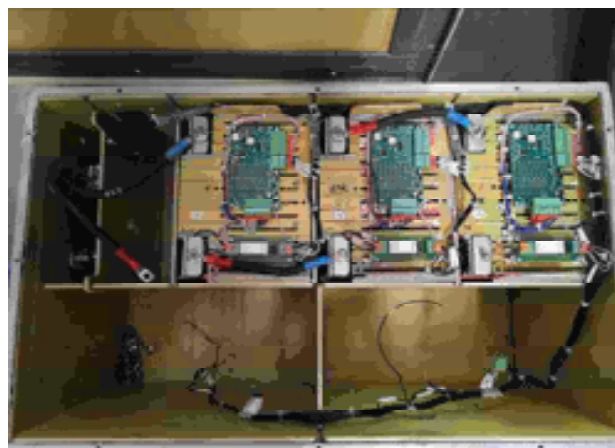


Рисунок 2 – Li-Ion акумуляторна батарея тролейбуса PTS-12

Блоки живлення мають сучасну систему керування зарядом, яка аналізує споживання напруги тією чи іншою частиною системи тролейбуса 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 контролю 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 детально 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].

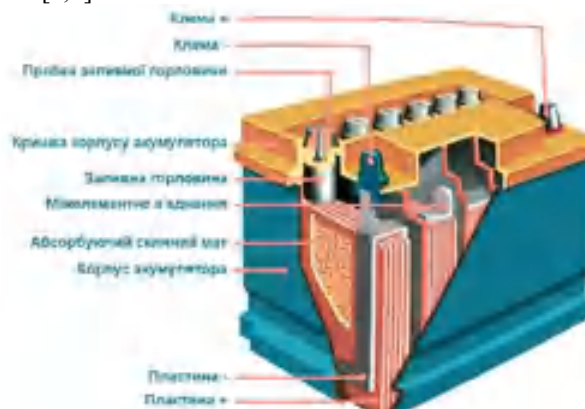


Рисунок 3 - Будова акумуляторів AGM типу

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 інтенсивній 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

Тип	Вид	Матеріал	Конструкція	Властивості
Літій-іонні	Літій-іонні	Літій-кобальт, літій-нікель, літій-манган	Висока енергетична щільність, низький саморозряд, широкий діапазон температур	Висока енергетична щільність, низький саморозряд, широкий діапазон температур
Нікель-кадмієві	Нікель-кадмієві	Нікель, кадмій	Висока потужність, довгий термін служби	Висока потужність, довгий термін служби
Ванієві	Ванієві	Ваній, нікель	Висока енергетична щільність, низький саморозряд	Висока енергетична щільність, низький саморозряд
Свинцеві	Свинцеві	Свинець, кислота	Низька енергетична щільність, висока потужність	Низька енергетична щільність, висока потужність

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 забезпеченні 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 Рашад¹, Леонід Іванов¹

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.

- 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.

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;

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.

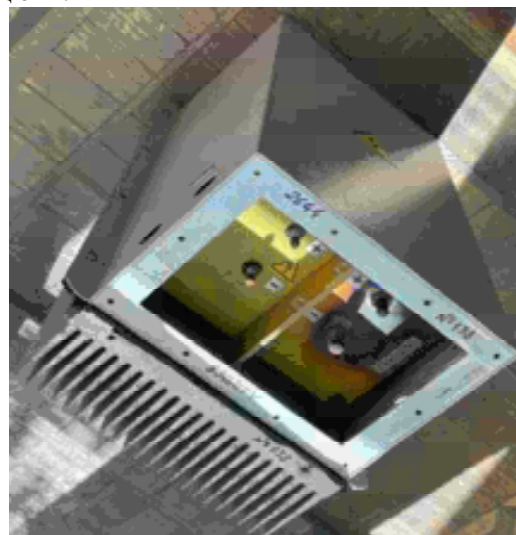


Рисунок 1 — Тролейбусний частотний перетворювач напруги

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 енергії 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 Python) 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. Модельованню 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 випромінювання 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 IPT 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 Новоселов¹, Дмитро Шестак²

1. Професор кафедри КПТАМ, 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 газу, 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 металевією 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: металевго корпусу, вибухового заряду та підривача, який може бути розташований 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.

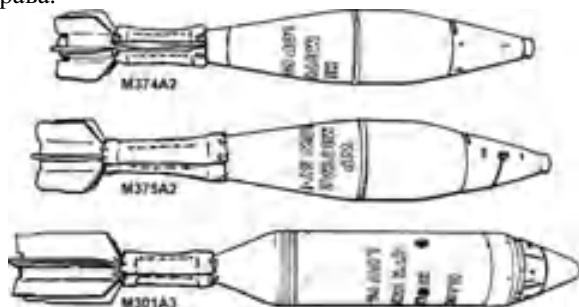


Рис.2. Артилерійська міна

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.

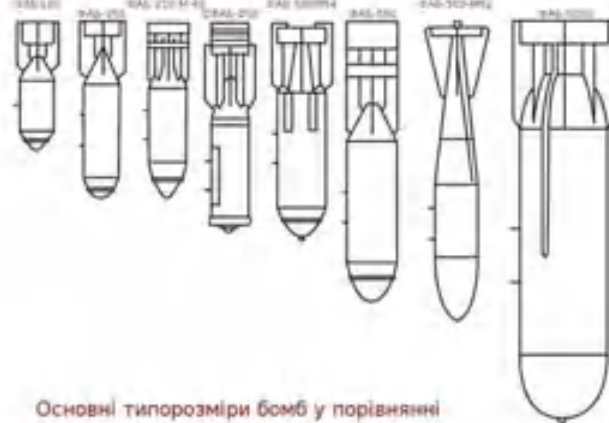


Рис.4. Схеми авіаційних бомб

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;

- заховування. Заховування 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'єкта;

- 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 кросплатформним 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 невідповідності, 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 прийняттого 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, які 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 структуру 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

сприйнятливим полем, 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.

Одноетапне виявлення об'єктів – у зв'язку з необхідністю виявлення об'єктів у реальному часі з'явилися одноетапні 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://sprotyv7.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

Анотація: 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 знешкодження, 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 літєві 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].

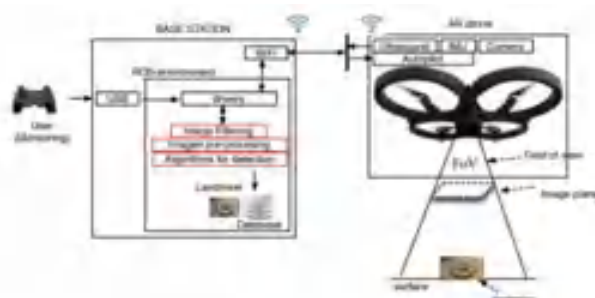


Рисунок 4 – Архітектура системи з виявлення мін

Деякі об'єкти були доволіно 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 безпілотної 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 безпілотною за протоколом SSH. Як безпілотною 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

польоту. 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].

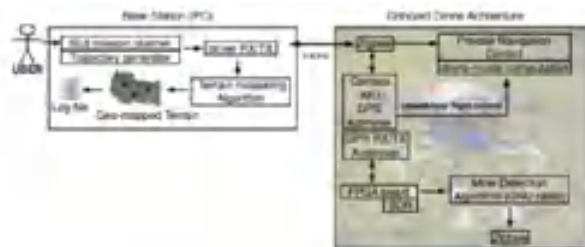


Рисунок 5 – Архітектура системи з виявлення мін

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 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 mine 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 і 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, N. 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 Białystok 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 Кухаренко¹, Богдан Коваленко¹

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 замінена 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 екстраремального 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:

$$\begin{pmatrix} y^1_1 & y^1_2 & y^1_3 & \dots & y^1_P \\ y^2_1 & y^2_2 & y^2_3 & \dots & y^2_P \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y^N_1 & y^N_2 & y^N_3 & \dots & y^N_P \end{pmatrix},$$

де y^j – номер одного з класів «Здоровий» - «Хворий» (наприклад, $y^j = 1$, якщо в рядку стоять параметри здорового пацієнта, і $y^j = 2$, якщо хворого), N – загальне

число спостережень, $i=1..N$. Нехай $\vec{T} (t^1, t^2, \dots, t^N)^T$ – задана контрольна виборка, де $t^i = (t_1^i, t_2^i, \dots, t_p^i)$ при $i=1..N$, $x = (x_1, x_2, \dots, x_p)$ – нове спостереження, тобто вектор параметрів пацієнта, якого необхідно діагностувати (інакше, віднести до одного з маючих 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 $f_j(\dots) = f(\dots | H_j)$ – щільність розподілу ймовірностей вектора x , що належить j класу, $j = 1, 2$. Вводячи апіорні ймовірності гіпотез π_j , які обчислюються як відношення числа спостережень 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 ймовірностей, то застосовується непараметричний метод для її оцінювання. Даний метод ґрунтується 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 позитивне значення, що називається параметром згладжування, N_j – загальне число спостережень відповідного класу. Ядро має бути парною функцією і задовольняти умові нормування:

$$\int_{\mathbb{R}^p} K(z) dz = 1.$$

В такому випадку:

$$\int_{\mathbb{R}^p} f_b(x) dx = 1$$

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 \mathbb{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 $x = (x_1, \dots, x_p)$ до s параметру спостереження $t^i = (t_1^i, t_2^i, \dots, t_p^i)$ 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.

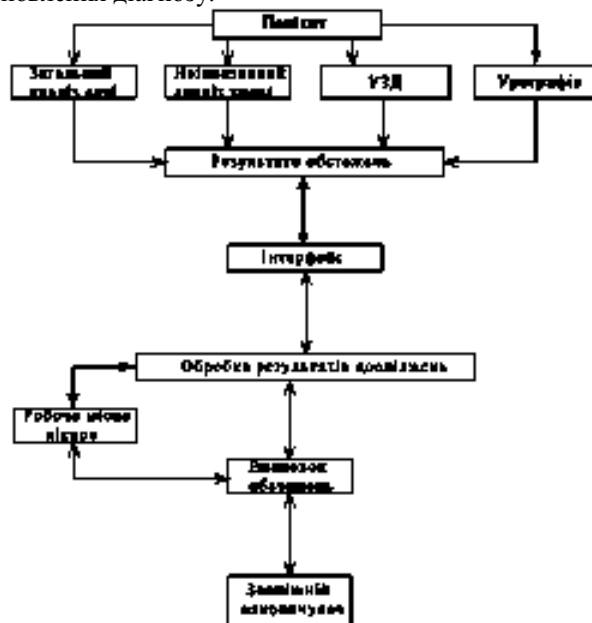


Рисунок 1 – Блок-схема взаємодії пацієнта, комплексу обстеження та лікаря [1]

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 неінвазивний аналіз крові не здатні показати візуальне зображення органа, що діагностується, уся увага зосереджена лише на хіміко-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. Експериментально 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 урографії було обрано такі параметри: структура нирок (їх поверхні та внутрішнього шару), та наявність або переміщення конкрементів, пухлин або інших інородних включень. Виключені з використаних 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 носіїв 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

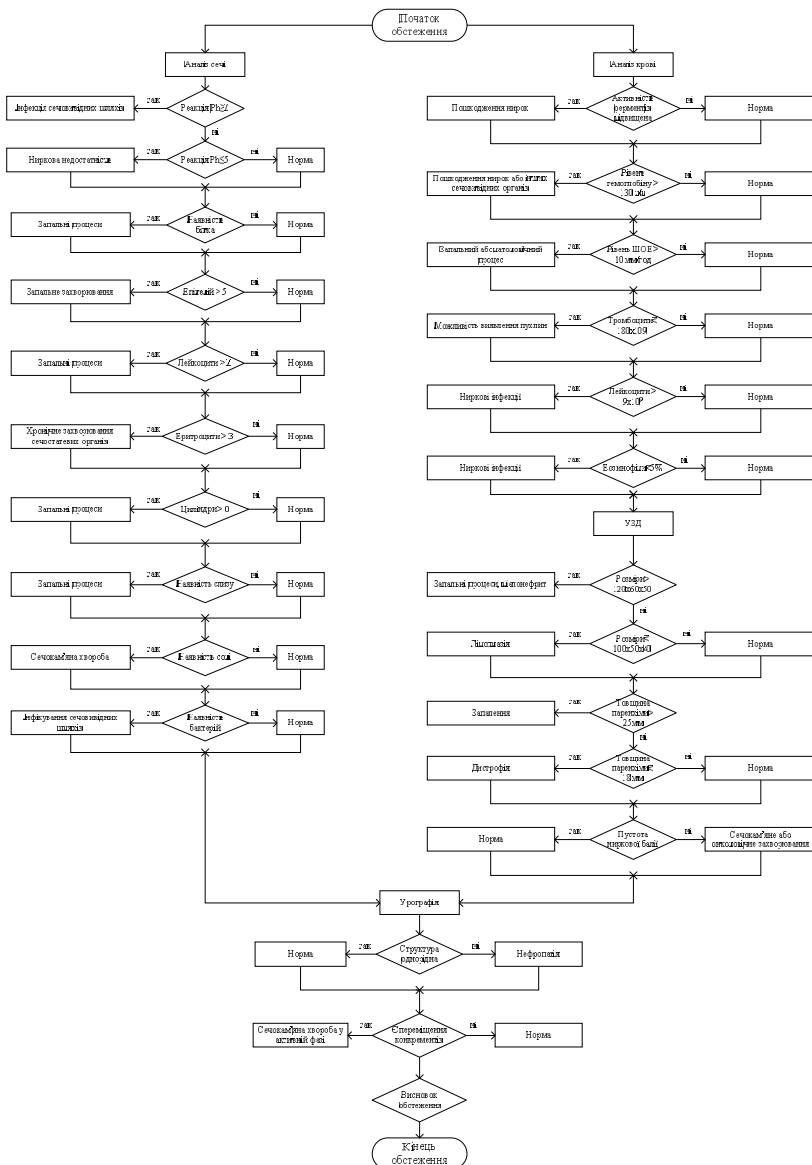


Рисунок 5 – Алгоритм роботи комплексу ранньої діагностики ниркових захворювань

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». – Bialystok (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 «ΛΟΓΟΣ», (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 Юрко¹, Дмитро Кухаренко¹, Михайло Довбня¹, Микола Мешков¹

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 регульовальному елементі (стабілізатор) розсіюється велика потужність. Одним 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, NYelec NY1502D 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 надходить 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 інвертору 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 пульсації

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 транспортабельності - 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 трьохканальній 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 пробую 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 $30\text{В} \times 5\text{А} = 150\text{Вт}$.

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 стоечному варіанті. Більш потужні (від 3 кВт) - тільки в універсальному стоечному 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 пробією 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.

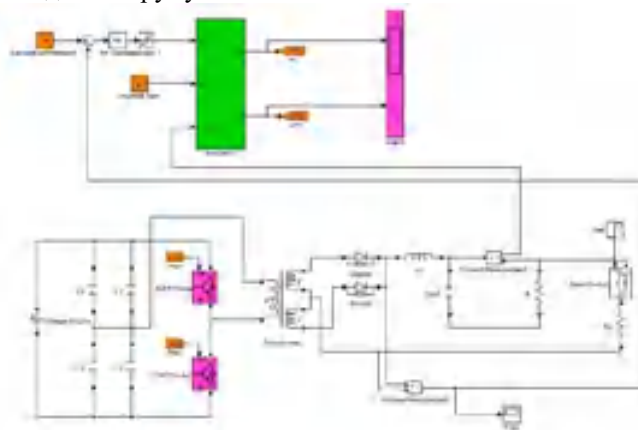


Рисунок 2 – Модель джерела живлення в Simulink

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 вимірним значенням. Далі результат порівняння потрапляє на ПД 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 Delphi 11, а розроблений макет представлений на рисунку 4. Графік залежність корисної потужності від температури нагрівання пристрою показує, що запропонована конструкція має вдалу будову (рис.5).

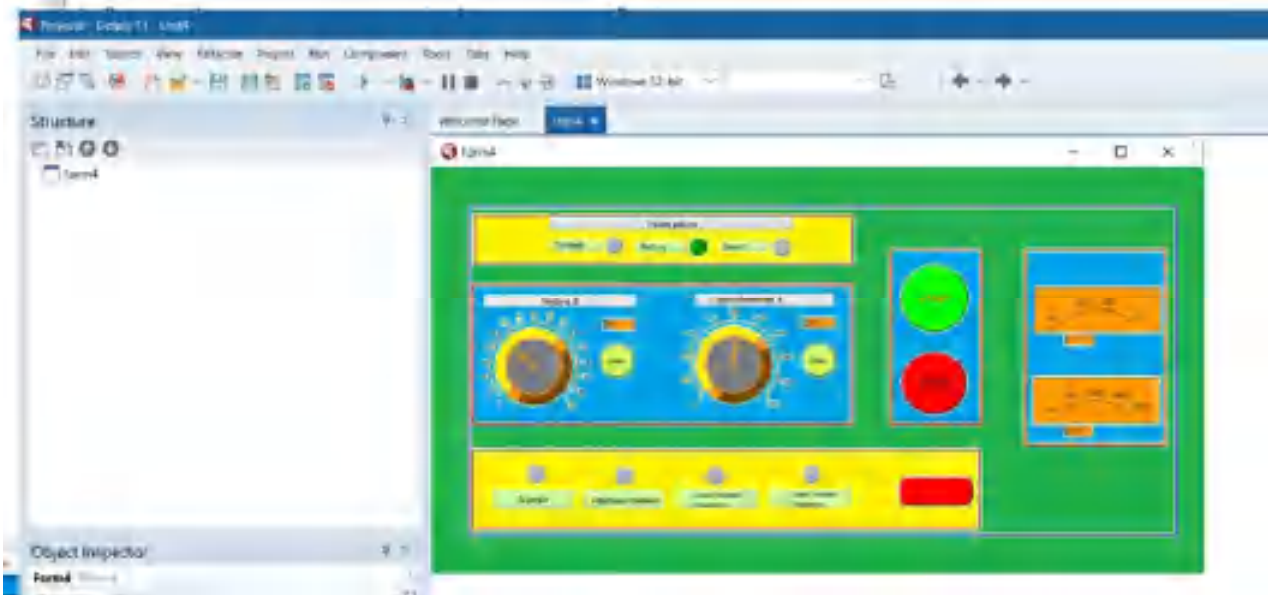


Рисунок 3 – Програмне забезпечення для керування лабораторним блоком живлення в Delphi 11



Рисунок 4 – Запропонований лабораторний блок живлення

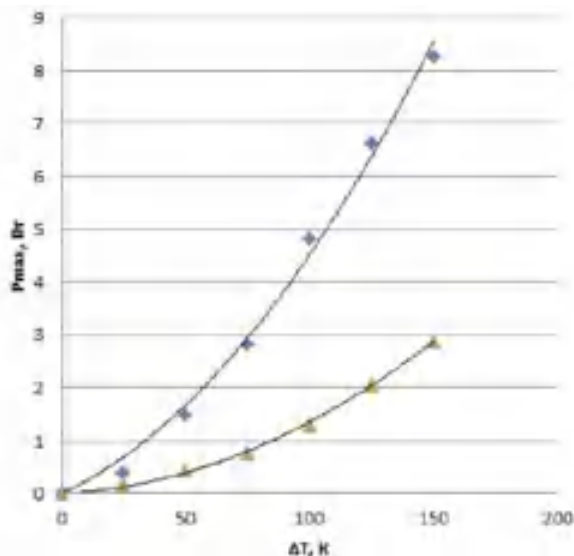


Рисунок 5 – Залежність корисної потужності від температури нагрівання

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 розробленої керування лабораторним блоком живлення обрано напівмостовий перетворювач з ємнісним дільником вхідної напруги, який дозволяє використовувати тільки одну первинну обвитку трансформатора і дві вторинні.

Для розробленої 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 включити 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 3

- 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 Białystok 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 «ΛΟΓΟΣ»*, (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 Кухаренко¹, Роман Косюта¹

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	Обсягово-територіал		Знаходило БНП		Кількість людей	
	Зн. площ	Значення робіт	Зн. добу	Значення робіт	Зн. добу	Значення робіт
Дніпропетр.	3,64	1268,96	114	24197	18	3784
Львівська	2,86	28628,86	173	73423	16	4924
Харківська	1,87	1845,21	290	90427	54	12327
Черкаська	0,81	1411,53	1	3888	1	1971
Чернівецька	1,21	39344,44	77	49664	5	4221
Хмельницька	30,79	304,36	284	2574	32	725
Сумська	0,6	1132,6	6	7304	12	1354
Дніпропетр.	0	148,34	0	2813	0	281

Забруднення території України мінами і боеприпасами, 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 боеприпасами, 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 металощукач 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 Keer 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 робототехнічних 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 робототехнічний комплекс розпочинає процес пошуку послідовно-паралельним способом.

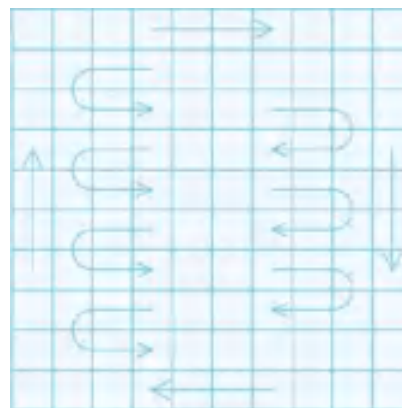


Рисунок 5 – Розробка маршруту робота при пошуку вибухо-небезпечних предметів

III. ВИСНОВКИ

Проведено аналіз сучасного стану розробки маніпуляторів робототехнічних систем військового та спеціального призначення для пошуку вибухонебезпечних предметів. Приведено основні види робототехнічних комплексів для пошуку вибухонебезпечних 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 «ΛΟΓΟΣ», (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 Кухаренко¹, Іван Лукеча¹

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 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 розширюватися 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 цитокіну обумовлена проникністю капілярних стін. $P=15-30$ мм.рт.ст (тиск), $D=4,5-7$ мкм (діаметр).

Венулау. 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 кровеносної 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 уражені 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:

$$Re = \frac{v \cdot D \cdot \rho}{\mu}$$

За густину крові беремо ρ . При питомій вазі та відносній густині величина показує співвідношення ваги речовин до займаних обсягів. Питома вага крові $-1,050-1,060$ г/см³. 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 гущіша, звідси плазма гущіша в 1,7-2,2 рази. Нормальна температура людини $36,2-36,7^{\circ}\text{C}$. 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 кровеносні 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.

$$Re = \frac{\rho \cdot D \cdot v}{\mu} = \frac{1000 \frac{г}{см^3} \cdot 0,01 \text{ см} \cdot 1,05 \frac{см}{с}}{0,03 \frac{г}{см \cdot с}} = 14$$

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.

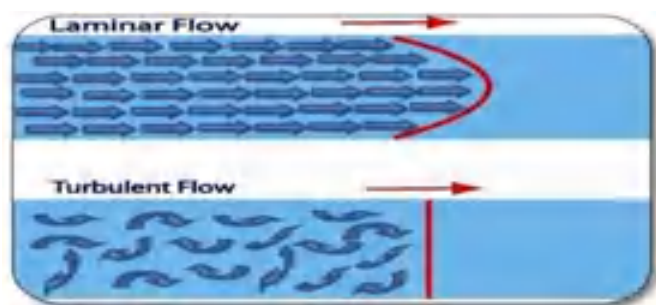


Рисунок 2 – Артеріальна течія: турбулентна та ламінарна

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, отриманій в результаті

експериментів, можна виявити як розміри стінок, тип і характеру перебігу впливають на стадію захворювання. Фізіологічні та патологічні умови у кровеносних 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.

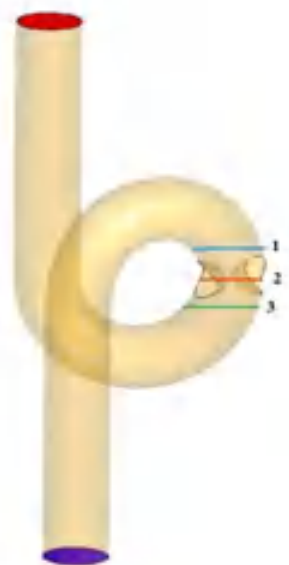


Рисунок 3 – Спроби моделювання тромбу в завитку артерії

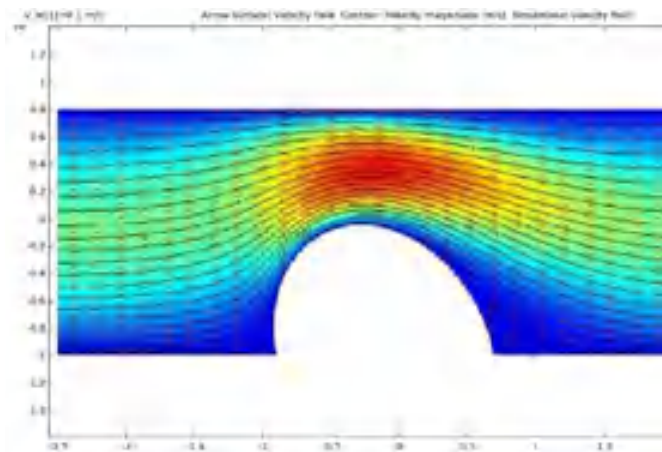


Рисунок 4 – Спроби моделювання тромбу з утворенням турбулентності в артерії

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. X. : 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., Demaska, 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 Białystok University of Technology. – 2021. – PP. 63-74.
- [5] Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Yevsieiev, V., Amer, A., Demaska, 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 Кухаренко¹, Владислав Нікітюк¹

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 пілоричної 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 малою 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

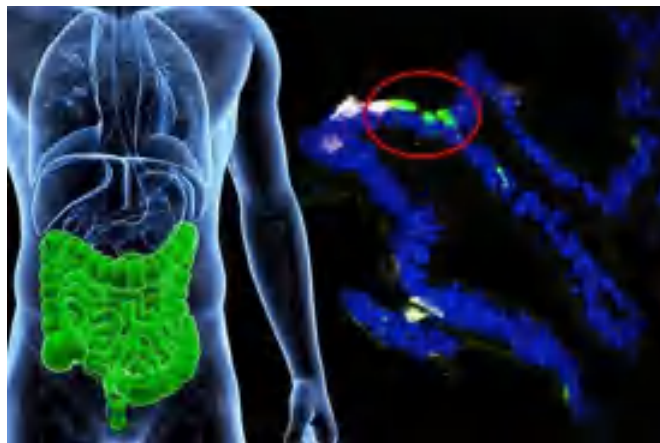


Рисунок 5 – Тривимірна модель шлунку шлунку в програмному забезпеченні 3d Max з визначенням патологічного стану



Рисунок 3 – Тривимірна модель шлунку



Рисунок 4 – Тривимірна модель шлунку в програмному забезпеченні 3d Max

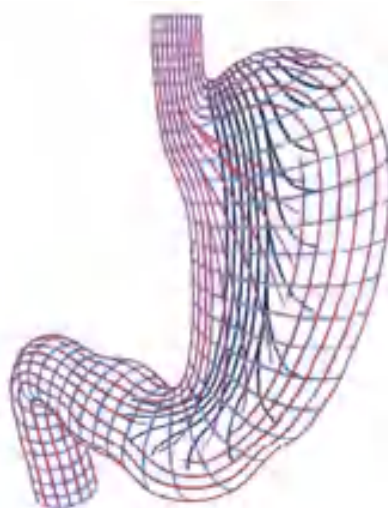


Рисунок 6 – Побудова спрощеної координатної сітки для шлунку

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 шлунку (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).

$$Z=(896,436x^3-64,994x^2+1,206x+0,023)+P;$$

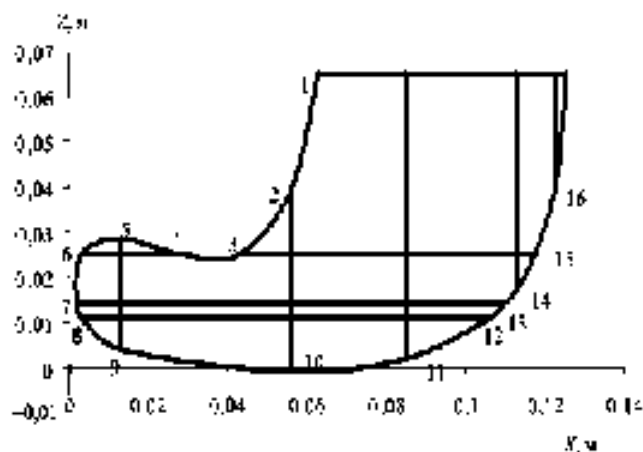
$$Z=(9617,999x^5-847,094x^4-104,9966x^3+15,369x^2-0,661x+0,011)+P,$$

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 $4 \cdot 10^{-4}$ 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:

$$V = \iiint_G dx dy dz;$$

$$m = \iiint_G \mu(x, y, z) dx dy dz;$$

$$\mu_{сеп}(x, y, z) = \frac{m}{V} = \frac{\iiint_G \mu(x, y, z) dx dy dz}{\iiint_G dx dy dz};$$

$$V = \iiint_G dx dy dz = \iiint_G r dr d\varphi dz;$$

$$m = \iiint_G \mu(x, y, z) dx dy dz = \iiint_G \mu'(r \cos \varphi, r \sin \varphi, z) r dr d\varphi dz.$$

Розрахувати площу злоякісної пухлини можна розрахувати за наступною формулою:

$$dS = k \cdot dv \cdot du,$$

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.

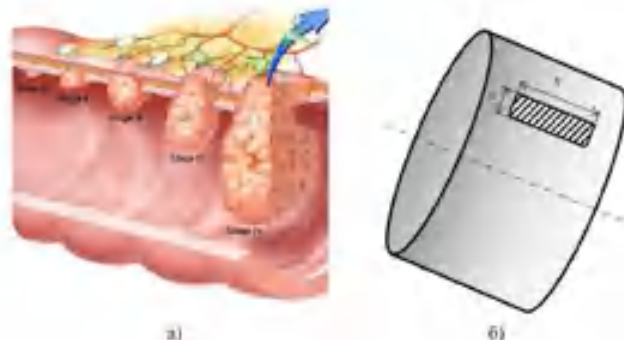
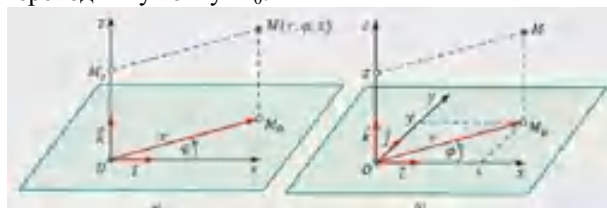


Рисунок 8 – Тонкий кишечник: а) тривимірне зображення злоякісної пухлини; б) схематичне зображення злоякісної пухлини, яка має довжину v та ширину u .

Спосіб визначення координат на внутрішній поверхні моделі тонкого кишечника, коли точка M переходить у точку M_0 .



$$x = r \cos \varphi;$$

$$y = r \sin \varphi;$$

$$z = z.$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2};$$

$$\cos \varphi = \frac{x}{r}, \quad \varphi (-\pi \leq \varphi \leq \pi);$$

$$\sin \varphi = \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}};$$

$$z = z.$$

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 результати 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 зляжисних утворень 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 $4 \cdot 10^{-4}$ 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 втручання 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., Мешков М. Ю. Розробка методології застосування прийомів креслення у медичних системах. *Радиоелектроніка 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. X. : ХНУРЕ, 2019. С. 24-26.
- [3] Компанієць Б. Ю., Кухаренко Д. В., Вадурін К. О. Огляд методів та засобів планування оперативних втручання на гемангіому. *Виробництво & Мехатронні Системи 2019* : матеріали III Міжнар. конф., м. Харків, 24-25 жовтня 2019 р. X. : 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 ультразвукових 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 проведені 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 приводи L293D. Для орієнтування у просторі використаємо ультразвукові датчики HC-SR04 (Рисунок 1).

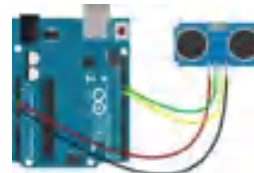


Рисунок 1 – Ультразвуковий датчик HC-SR04

Для збору схеми робота використовуємо Autocad Tinkercad. На Рисунок 2 зображена схема підключення робота.

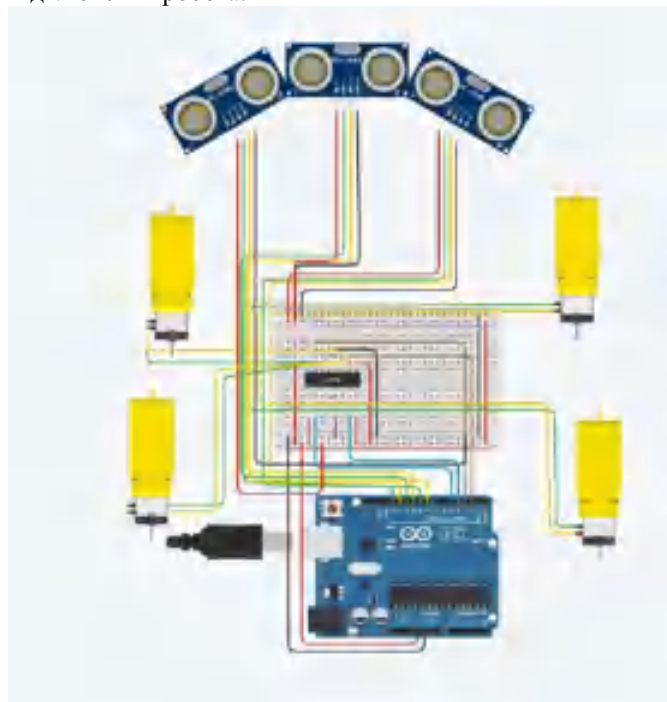


Рисунок 2 – Схема підключення

Робот буде їхати прямо, але при вияві перешкоди перед собою буде її об'їздити доступним способом: якщо перешкода прямо, робот перевіре наявність перешкод по боках. Якщо перешкода ліворуч, робот обігне її праворуч, якщо перешкода праворуч – обігне ліворуч.

Мовою програмування, для розробки програмного забезпечення робота, було обрано C++ через високу продуктивність і сумісність 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 інформації щодо
дистанції 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);
  }
  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);
    digitalWrite(intPin5, HIGH);
    digitalWrite(intPin4, LOW);
    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 роботи, 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 модулів. 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 ефективності.

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 «ΛΟΓΟΣ»*, (August 12, 2022; Zurich, Switzerland), 113–114. <https://doi.org/10.36074/logos-12.08.2022.33>
- [8] Attar, H., & et al.. (2022). Control System Development and Implementation of a CNC Laser Engraver for Environmental Use with Remote Imaging. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022, Article ID 9140156, <https://doi.org/10.1155/2022/9140156>.
- [9] Nevliudov, I., & et al.. (2020). Method of Algorithms for Cyber-Physical Production Systems Functioning Synthesis. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 8(10), 7465-7473
- [10] Nevliudov, I., & et al.. (2021). GUI Elements and Windows Form Formalization Parameters and Events Method to Automate the Process of Additive CyberDesign CPPS Development. *Advances in Dynamical Systems and Applications*, 16(2), 441-455.
- [11] Nevliudov, I., & et al.. (2021). Development of a cyber design modeling declarative Language for cyber physical production systems, *J. Math. Comput. Sci.*, 11(1), 520-542.
- [12] Розробка 3D-моделі зооморфного мобільного робота для вертикальних переміщень по металевим поверхням / І. Ш. Невлюдов, В. В. Євсєєв, Н. П. Демська, В. О. Руденко // *Наука і техніка сьогодні*. – 2022. – № 4(4). – С.163-174.
- [13] Nevliudov I. Modernization of the work control system by the PUMA-560 manipulator / I. Nevliudov, V. Yevsieiev, N.Demka, 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 Hariiri, Y Bernard and A Razek. (2014). A traveling wave piezoelectric beam robot. *Smart Mater. Struct.* 23 025013. DOI 10.1088/0964-1726/23/2/025013
- [17] Carman Neustaedter, Gina Venolia, Jason Procyk, Daniel Hawkins.(2016). In *Proceedings of the 19th ACM Conference on Computer-Supported Cooperative Work & Social Computing* February 2016, Pages 418–431. <https://doi.org/10.1145/2818048.2819922>

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

Igor Nevliudov¹, Oleksandr Ratushnyi², Yurii Romashov³

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 specific 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:

$$T_H^{in}(t), Q_H(t), Q_C \rightarrow T_C^{out}(t). \quad (3)$$

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:

$$\begin{aligned} a_n \frac{d^n T_C^{out}}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} T_C^{out}}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{dT_C^{out}}{dt} + a_0 T_C^{out} = \\ = b_1 T_H^{in}(t) + b_2 Q_H(t) + b_3 Q_C + b_4 T_C^{in}(t), \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} T_C^{out}(t_0) = T_C^{out}(t_0), \quad \frac{dT_C^{out}}{dt}(t_0) = T_C^{out(1)}, \dots \\ \dots, \frac{d^{n-1} T_C^{out}}{dt^{n-1}}(t_0) = T_C^{out(n-1)}, \end{aligned} \quad (5)$$

where n is the order of the differential equation; $a_n, a_{n-1}, \dots, a_0, b_1, b_2, b_3$ and b_4 are the parameters of the mathematical model; t_0 is some given time moment; T_C^{out} and $T_C^{out(1)}, \dots, T_C^{out(n-1)}$ 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

$$x(t) = T_C^{out}(t) - T_C^w, \quad x = \frac{d\tilde{x}}{dt}, \quad x(t_0) = 0, \quad (5)$$

$$T_H^{in}(t) = T_H^w - k_p^T x - k_I^T \int x dt - k_D^T \frac{dx}{dt}, \quad (6)$$

$$Q_H(t) = Q_H^w - k_p^Q x - k_I^Q \int x dt - k_D^Q \frac{dx}{dt}, \quad (7)$$

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:

$$\begin{aligned} a_n \frac{d^{n+1} \tilde{x}}{dt^{n+1}} + a_{n-1} \frac{d^n \tilde{x}}{dt^n} + \dots \\ \dots + (a_1 + b_1 k_D^T + b_2 k_D^Q) \frac{d^2 \tilde{x}}{dt^2} + (a_0 + b_1 k_p^T + b_2 k_p^Q) \frac{d\tilde{x}}{dt} + \\ + (b_1 k_I^T + b_2 k_I^Q) \tilde{x} = b_1 T_H^w + b_2 Q_H^w + b_3 Q_C - a_0 T_C^w + b_4 T_C^{in}, \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \tilde{x}(t_0) = 0, \quad \frac{d\tilde{x}}{dt}(t_0) = T_C^{out}(t_0) - T_C^w, \quad \frac{d^2 \tilde{x}}{dt^2}(t_0) = T_C^{out(1)}(t_0) - \dots \\ \dots, \frac{d^n \tilde{x}}{dt^n}(t_0) = T_C^{out(n-1)}(t_0). \end{aligned} \quad (9)$$

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:

$$\begin{aligned} f(s) = a_n s^{n+1} + a_{n-1} s^n + \dots + (a_1 + b_1 k_D^T + b_2 k_D^Q) s^2 + \\ + (a_0 + b_1 k_p^T + b_2 k_p^Q) s + (b_1 k_I^T + b_2 k_I^Q). \end{aligned} \quad (11)$$

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.

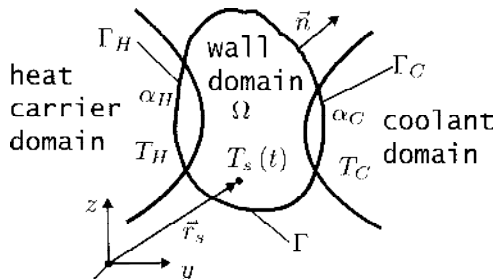


Fig.1. Heat exchanger general schematization

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 :

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right), (x, y, z) \in \hat{\Omega}, (12)$$

$$T(x, y, z, t_0) = T^{(0)}(x, y, z), (x, y, z) \in \hat{\Omega}, (13)$$

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):

$$\lambda \left(\frac{\partial T}{\partial x} n_x + \frac{\partial T}{\partial y} n_y + \frac{\partial T}{\partial z} n_z \right) = \alpha_H (T_H - T), (x, y, z) \in \Gamma_H, (14)$$

$$\lambda \left(\frac{\partial T}{\partial x} n_x + \frac{\partial T}{\partial y} n_y + \frac{\partial T}{\partial z} n_z \right) = \alpha_C (T - T_C), (x, y, z) \in \Gamma_C, (15)$$

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:

$$T_H = T_H(T_H^{in}, Q_H, T), T_C = T_C(T_C^{in}, Q_C, T). (16)$$

It is necessary to note, that having the relations (16) is actually the difficult and relatively independent problem for each kind of the heat 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:

$$T_C^{out} = T_C^{out}(T_C). (17)$$

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 (12)–(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):

$$\vec{r}_s = x_s \vec{i} + y_s \vec{j} + z_s \vec{k}, s = 1, 2, \dots, n, (18)$$

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:

$$T_s(t) = T(x_s, y_s, z_s, t), s = 1, 2, \dots, n, (19)$$

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:

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, \quad T(x, 0) = T^{(0)}(x), \quad 0 < x < h, \quad (20)$$

$$\alpha_H T - \lambda \frac{\partial T}{\partial x} = \alpha_H T_H^{in}, \quad x = 0, \quad (21)$$

$$\alpha_C T + \lambda \frac{\partial T}{\partial x} = \alpha_C T_C^{in}, \quad x = h, \quad (22)$$

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:

$$x_0 = 0, \quad x_1 = \Delta h, \quad x_2 = h, \quad \Delta h = \frac{1}{2} h. \quad (24)$$

In agreement with the introduced points (24), we will have the following temperatures representing the plate temperature field:

$$T_0(t) = T(x_0, t), \quad T_1(t) = T(x_1, t), \quad T_2(t) = T(x_2, t). \quad (25)$$

Using the well-known finite differences technique and the introduced values (25), we can represent the relations (20)–(23) as following:

$$\frac{dT_1}{dt} = \frac{\lambda}{c\rho\Delta h^2} (T_0 + 2T_1 + T_2), \quad (26)$$

$$\alpha_H T_0 - \lambda \frac{-3T_0 + 4T_1 - T_2}{2\Delta h} = \alpha_H T_H^{in}, \quad x = 0, \quad (27)$$

$$\alpha_C T + \lambda \frac{3T_2 - 4T_1 + T_0}{2\Delta h} = \alpha_C T_C^{in}, \quad x = h, \quad (28)$$

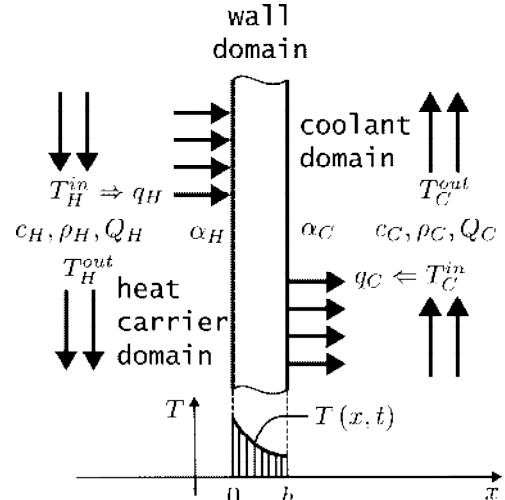


Fig.2. Heat exchanger simplest schematization

$$T_C^{out}(t) = T_C^{in} - \frac{\lambda S}{c_C \rho_C Q_C} \frac{3T_2 - 4T_1 + T_0}{2\Delta h}. \quad (29)$$

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:

$$T_0 = A_1 T_1 + A_2 T_H^{out} + A_3 T_C^{out}, \quad T_2 = B_1 T_1 + B_2 T_H^{out} + B_3 T_C^{out}, \quad (30)$$

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):

$$\frac{dT_1}{dt} = \tilde{A}_1 T_1 + \tilde{A}_2 T_H^{in} + \tilde{A}_3 T_C^{in}, \quad (31)$$

$$T_C^{out} = \tilde{B}_1 T_1 + \tilde{B}_2 T_H^{in} + \tilde{B}_3 T_C^{in}, \quad (32)$$

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:

$$T_1 = \frac{T_C^{out} - \tilde{B}_2 T_H^{in} - \tilde{B}_3 T_C^{in}}{\tilde{B}_1}. \quad (33)$$

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 Малий¹, Наталія Фурманова², Вадим Онищенко¹, Сергій Малий³

1. Кафедра ПЕЗ, 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 "Авроріт", УКРАЇНА,

Запоріжжя, вул.Перемоги 2, email: serezhmymail@gmail.com

Анотація: Наведено методологію вибору компонентів рушійної установки мультироторних безпілотних літальних апаратів на безщіткових 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 Джульетті [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 проєктів, 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.

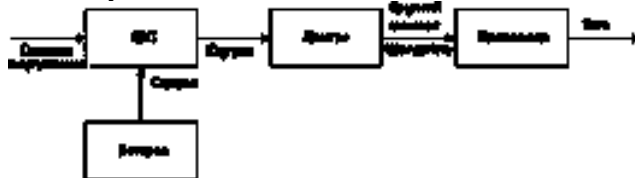


Рис.1. Діаграма одного кола багатороторної рушійної установки

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 безщіткового двигуна стосуються швидкості та струму. Виробник часто вказує максимальний струм, а максимальну швидкість без навантаження ω_0 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.

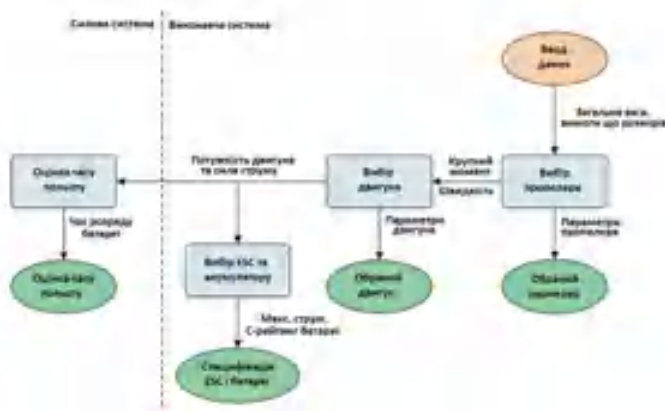


Рис. 3. Блок-схема спрощеної методології визначення розміру з поділом на дві підсистеми

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 залежать від обраної гвинтомоторної пари.

Розмір і процес вибору гвинта починається з визначення бази даних пропелерів, представленої як набір доступних гвинтів

$$P = \{p_i : i=1, \dots, n_p\}, \quad (2)$$

де i -й пропелер p_i визначено парою

$$p_i = (f_{pi}, g_{pi}), \quad (3)$$

де f_{pi} позначає продуктивність i -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 i -го гвинта;
 Θ_{pi} – кут нахилу i -го гвинта;
 m_{pi} – маса i -го гвинта;

S_{ni} — дискретний параметр, що представляє назву серії i -го гвинта.

Потім набір пропелерів P фільтрується, щоб отримати набір пропелерів $P_r \subseteq P$, які задовольняють вимогам, що включають 4 параметри:

$$g_{pr} = (d_{\min}, d_{\max}, m_{p\max}, S_{nr}) \quad (5)$$

де d_{\min} — мінімальний діаметр;
 d_{\max} — максимальний діаметр;
 $m_{p\max}$ — максимальна маса;
 S_{nr} — набір бажаних назв серій:

$$S_{nr} = \{s_{nk} : k = 1, \dots, n_s\}. \quad (6)$$

Таким чином

$$P_r = \{p_i : d_i \in [d_{\min}; d_{\max}], m_{pi} \in (0; m_{p\max}], S_{ni} \in S_{nr}\} \quad (7)$$

Це допомагає заощадити час під час оцінки даних продуктивності та розрахунку робочих точок, які виконуються далі.

Продуктивність i -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:

$$a_{pi} = \{a_{pi}^{(k)} : k = 1, \dots, n_0\},$$

де

$$a_{pi}^{(k)} = (T_i^{(k)}, \omega_i^{(k)}, \tau_i^{(k)}, P_{pi}^{(k)}), \quad (9)$$

$$T_i^{(k)} = T_r^{(k)}, \quad (10)$$

$$\omega_i^{(k)} = T^{-1}(T_r^{(k)}), \quad (11)$$

$$\tau_i^{(k)} = \tau(\omega_i^{(k)}), \quad (12)$$

$$P_{pi}^{(k)} = P_p(\omega_i^{(k)}). \quad (13)$$

Приклад триплетів відображення для двох пропелерів показано на рис. 5 разом із ілюстрацією отримання a_{pi} з T_r .

Зазвичай обчислюється $n_0 = 2$ робочі точки: робоча точка під час висіння $a_{pi}^{(1)}$ та робоча точка широко відкритого дроселя (WOT – Wide Open Throttle) $a_{pi}^{(2)}$. 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:

$$T_r^{(1)} = \frac{W_{total}}{n_{rot}}, \quad (14)$$

$$T_r^{(2)} = \gamma_T \times T_r^{(1)}. \quad (15)$$

де W_{total} — розрахована загальна вага мультиротора;

n_{rot} — кількість роторів;

γ_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.

$$W_{total} = n_{rot}(W_{prop} + W_{motor} + W_{ESC}) + W_{frame} + W_{battery} + W_{payload} + W_{FC} + W_{other} \quad (16)$$

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:

$$P_{pi_{avg}} = \frac{1}{2} (P_{pi} + \tau_i \omega_i). \quad (18)$$

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:

$$P_{selected} = \arg \min_{P_i \in P_p} P_{i_{avg}}^{(1)} \quad (19)$$

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:

$$M = \{m_j = (f_{mj}, g_{mj}) : j = 1, \dots, n_m\}, \quad (20)$$

де f_{mj} модель двигуна, що описується трійкою відображень:

$$f_{mj} = (I \mapsto P_m(I), I \mapsto P_e(I), (P_m, P_e) \mapsto \eta(P_m, P_e)), \quad (21)$$

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 $P_r = P_{selected}^{(k)}$. Далі для кожного $m_j \in M$ ми визначаємо n_0 триплетів робочих точок двигуна:

$$o_{mj}^{(k)} = (I_j^{(k)}, P_{e_j}^{(k)}, \eta_j^{(k)}), \quad (23)$$

де (залежність від k видалено для простоти):

$$I_j = P_m^{-1}(P_r), \quad (24)$$

$$P_{e_j} = P_e(I_j), \quad (25)$$

$$\eta_j = \eta(P_r, P_{e_j}). \quad (26)$$

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 $[0; I_{max}]$ обернена до степеневій функції P_m^{-1} майже завжди може бути оцінена.

Знання o_{mj} для всіх $m_j \in M$ 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

$$g_{mj} = (\omega_{max}, m_{m_{max}}), \quad (27)$$

де $\omega_{max} = \omega_{selected}^{(2)}$ — це швидкість гвинта при WOT;

$m_{m_{max}}$ — максимальна маса двигуна.

Таким чином,

$$M_p = \{m_j : I_j \leq I_{max}, \omega_{mj} \geq \omega_{max}, m_{mj} \leq m_{m_{max}}\}. \quad (28)$$

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

$$r_C = \frac{I_{ESC} \times n_{tot}}{C} \quad (31)$$

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 T_T , 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 $T_{selected}^{(2)}$; номінальна механічна потужність $P_{mech_{selected}}^{(2)}$; номінальний електрична потужність $P_{elec_{selected}}^{(2)}$; 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

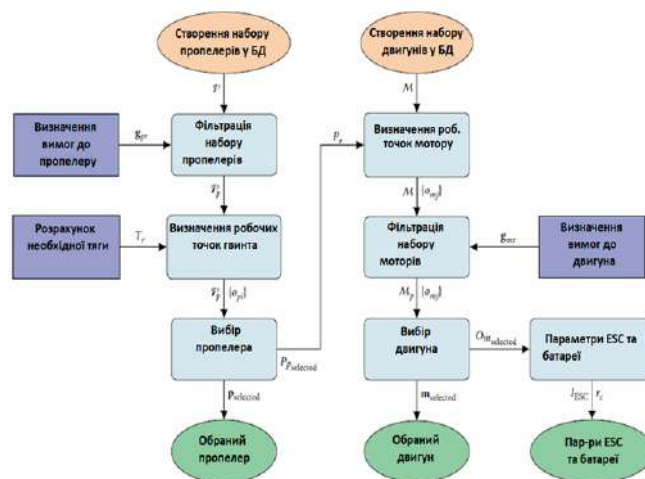


Рис. 4. Діаграма потоку інформації методології

Розділ системи живлення розробленої методології зосереджений на оцінці часу польоту шляхом моделювання батареї. Модель базується на ітераційному підході, представленим 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:

$$t = \frac{Rt}{I^n} \left(\frac{C}{Rt} \right)^n \quad (32)$$

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.

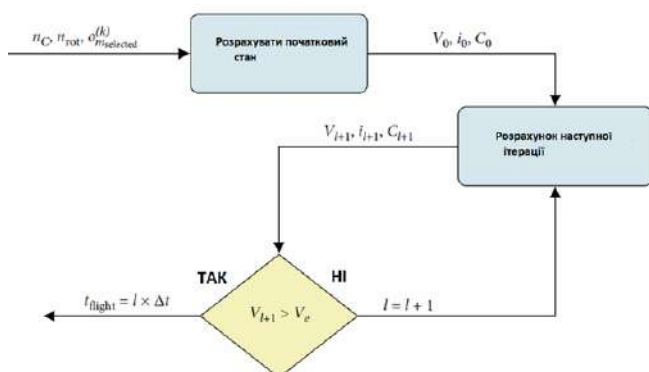


Рис.5. Діаграма розрахунку енергосистеми для k-ї робочої точки

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

$$V(t) = V_0 - k_1[C_0 - C(t)], \quad (33)$$

$$k_1 = \frac{4.2V - 3.7V}{DoD \times C_0 \times n_C}, \quad (34)$$

де V_0 — початкова напруга;

k_1 — 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

$$V_{l+1} = V_0 - k_1[C_0 - C_l], \quad (35)$$

$$i_{l+1} = \frac{P_E}{V_{l+1}}, \quad (36)$$

$$C_{l+1} = i_{l+1}^{-n} R t^{1-n} C^n - \sum^{l+1} i_m \Delta t, \quad (37)$$

з початковим станом, визначеним як

$$V_0 = 4.2V \times n_C, \quad (38)$$

$$i_0 = \frac{P_E}{V_0}, \quad (39)$$

$$C_0 = i_0^{-n} R t^{1-n} C^n. \quad (40)$$

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

$$V_e = 3.7V \times n_C, \quad (41)$$

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. Giuliotti, "Preliminary design analysis methodology for electric multicopter," International Federation of Automatic Control Proceedings Volumes, vol. 46, no. 30, pp. 58–63, 2013.
- [2] M. Gatti, "Complete preliminary design methodology for electric multicopter," 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 (210x297мм). Папір 80г/м².
[електронний друк]