

**ДОДАТОК А**

Апробація результатів наукових досліджень



The Ministry of  
Education and Science  
of Ukraine

<https://nure.ua/>

Kharkiv National  
University of  
Radio Electronics

**KITAM**

2023

## COLLECTION

OF STUDENTS' SCIENTIFIC PAPER

«Automation and Development of Electronic Devices»

ADED-2023

(Part 1)



**Industry 4.0**



Digital control  
life cycle



Distributed Computer  
Systems



Fast  
integration and  
flexible  
configuration



Cyber-physical  
system

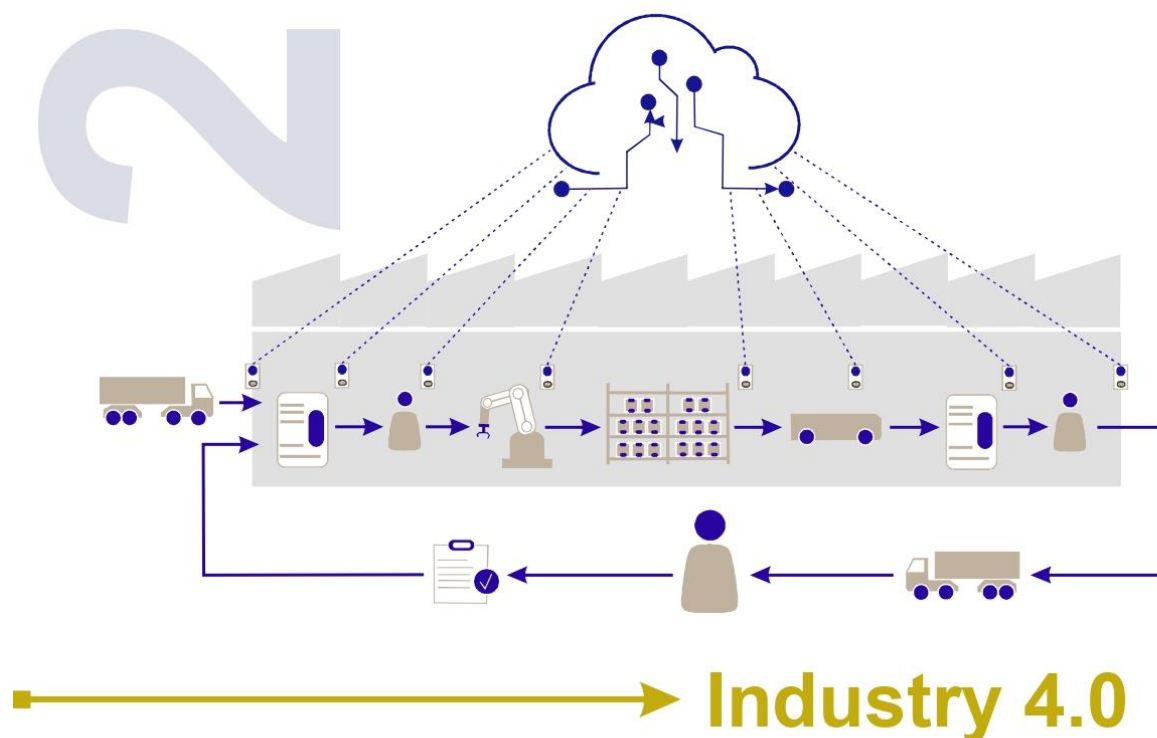
<https://nure.ua/>

кафедра  
Комп'ютерно-інтегрованих  
технологій, автоматизації та мехатроніки

ХНУРЕ

## ЗБІРНИК

студентських наукових статей  
«Автоматизація та приладобудування»  
ADED-2023  
(Випуск 1)  
[електронне видання]



- Головий редактор** **Невлюдов Ігор Шакирович**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.
- Редакційна колегія:** **Филипенко Олександр Іванович**, доктор технічних наук, професор, декан факультету Автоматики та комп'ютеризованих технологій, Харківського національного університету радіоелектроніки.  
**Цимбал Олександр Михайлович**, доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.  
**Андрусевич Анатолій Олександрович**, доктор технічних наук, професор, начальник Криворізького коледжу національного авіаційного університету  
**Косенко Віктор Васильович**, доктор технічних наук, професор, зам. директора Державного підприємство «Південний державний проектно-конструкторський та науково-дослідний інститут авіаційної промисловості».  
**Замірець Микола Васильович**, доктор технічних наук, професор, директор Державного підприємства Науково-дослідного технологічного інституту приладобудування.  
**Свищ Володимир Митрофанович**, доктор технічних наук, професор, радник директора Державне науково-виробниче підприємство «Об'єднання Комунар».  
**Фомовська Олена Владиславівна**, кандидат технічних наук, доцент завідувач кафедри «Електронних апаратів» Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського.  
**Кухаренко Дмитро Володимирович**, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Електронних апаратів» Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського  
**Демська Наталія Павлівна**, кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.  
**Фурманова Наталія Іванівна**, кандидат технічних наук, доцент, в.о. декана факультета Радіоелектроніки і телекомунікацій, Національного університету «Запорізька політехніка».
- Відповідальний редактор:** **Євсєєв Владислав В'ячеславович**, доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.

Автоматизація та Приладобудування («Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2023) [Електронний ресурс] : збірник студентських наукових статей / Харківський національний університет радіоелектроніки ; [редкол.: І.Ш. Невлюдов та ін.]. – Харків : ХНУРЕ, 2023. – Вип. 1. – 336с.

Collection of Students' Scientific Paper «Automation and Development Of Electronic Devices» ADED-2023 Part 1 (Key infrastructure 2023) - Kharkiv/ The Editorial.: Nevlyudov I.Sh. (head), that all. Kharkiv: Kind of Kharkiv National University of Radio Electronics [electronic edition], 2023. – 336p with.

Рекомендовано рішенням  
Науково-технічної ради  
Харківського національного  
університету радіоелектроніки  
протокол №6 від 29.11.2018

Рекомендовано рішенням Вченої ради  
факультету Автоматички і комп'ютеризованих технологій  
Харківського національного  
університету радіоелектроніки  
протокол № 6 від 01.05.2023

Збірник містить наукові статті здобувачів першого (бакалаврського), другого (магістерського) рівнів вищої освіти кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки (КІТАМ) Харківського національного університету радіоелектроніки, кафедри Інформаційних технологій електронних засобів (ІТЕД) Запорізького національного технічного університету та кафедри Електронних апаратів (ЕА) Кременчуцького національного університету ім. М. Остроградського які навчаються за спеціальностями: 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, 172 Телекомунікації та радіотехніка, 171 Електроніка та 163 Біомедична інженерія. Статті надані в авторській редакції.

©ХНУРЕ, 2023 рік

<i>Александров В.О.</i>	
Перспективи розвитку повітряної робототехніки в Україні .....	105
<i>Савін В.А.</i>	
Аналіз сучасних методів виявлення вибухонебезпечних об'єктів .....	110
<i>Залож Є.</i>	
Управління збутом продукції виробничого підприємства на основі динамічних QR-кодів .....	115
<i>Воронов Д.О.</i>	
Розробка програмних модулів на основі датчика LIDAR для системи управління БПЛА .....	119
<i>Коротун Є.В.</i>	
Факторний аналіз фотополімерних смол для 3D-друку .....	124
<i>Світайло Д. М.</i>	
Аналіз причин кібератак та інформаційної безпеки .....	128
<i>Долгуля А.В.</i>	
Дослідження переміщення чотирилапого зооморфного робота «Робокіт» у невизначеному просторі .....	132
<i>Кривий М.В.</i>	
Робототехнічні системи та їхнє використання .....	138
<i>Ніпова Д.У.</i>	
Programmable Providing of Data on Functional Dependencies of Material Characteristics ...	143
<i>Білоус М.Ю., Іценко М.Д.</i>	
Автоматизація розподілу сервісних робіт на підприємстві .....	147
<i>Кравченко С. В.</i>	
Аналіз сучасного фреймворка ASP.NET CORE для WEB-додатків .....	151
<i>Башир Б.В.</i>	
Переваги та недоліки термопластавтоматів .....	156
<i>Зибенко О. О.</i>	
Впровадження електроерозійних варстатів з ЧПК в розумне виробництво .....	160
<i>Кальченко А.С.</i>	
Особливості 3D-ДРУКУ для принтерів FDM/FFF .....	165
<i>Маковоз С. К.</i>	
Комп'ютерне моделювання механічної частини плазмового ЧПУ верстата .....	170
<i>Піхтерьов А.Д.</i>	
Переваги та недоліки 3D-принтерів з полярною кінематикою .....	174
<i>Придятько Д.Р.</i>	
Огляд можливостей систем технічного зору для пошуку вибухонебезпечних предметів .....	178
<i>Шерстюк А. М.</i>	
Системологічний аналіз проблеми автоматизації виявлення браку продукції приладобудівельного підприємства .....	183
<i>Лукеча І.</i>	
Математична модель системи позиціонування стимулюючого електрода на біологічно активні точки .....	189
<i>Обозін Я.В.</i>	
Особливості засобів для ремонту пошкоджених автомобілів .....	195
<i>Shevchenko A.A.</i>	
Development of Program Tools to Provide Automated Data Plots Visualisation for Scientific Aided Computation Software .....	199

### АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ВИЯВЛЕННЯ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

**Савін В.А.**

Харківський національний університет радіоелектроніки

Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14

Email: vladyslav.savin@nure.ua

**Анотація:** Дана стаття присвячена аналізу сучасних методів виявлення вибухонебезпечних об'єктів типу неземних мін. Проведено дослідження мін, які отримали широке розповсюдження на території України, та їх конструкторських особливостей. Також проведено аналіз методів виявлення мін та побудована таблиця, яка описує фізичні принципи їх роботи. Більш детально розглянуто механічний метод виявлення мін, розроблена структурна схема механічного датчика, яка може бути розміщена на мобільному роботі.

**Ключові слова:** розмінування, наземні міни, методи виявлення.

### DEVELOPMENT OF A STRUCTURAL DIAGRAM OF A MOBILE MANIPULATION PLATFORM FOR DEMINING

**V. Savin**

Kharkiv National University of Radio Electronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky av.,14

Email: vladyslav.savin@nure.ua

**Annotations:** This article is devoted to the analysis of modern methods of detecting explosive objects such as landmines. A study of mines, which were widely distributed on the territory of Ukraine, and their design features was conducted. An analysis of mine detection methods was also carried out, and a table was created that describes the physical principles of their operation. The mechanical method of detecting mines is considered in more detail, the structural diagram of a mechanical sensor that can be placed on a mobile robot is developed.

**Key words:** demining, land mines, detection methods.

Повне розмінування території України може тривати понад п'ять років з огляду на те, що для розмінування деокупованого населеного пункту необхідно від 1 до 3 років. При цьому за наявності річок та лісосуруг може знадобитися більше часу. Про це заявив міністр внутрішніх справ України Денис Монастирський в ефірі телемарафону [1]. За його словами, понад 30% території України на сьогоднішній день забруднено вибухонебезпечними предметами – за міжнародними показниками це найвищий рівень з часів Другої світової війни. Також, Денис Монастирський додав, що кожного тижня є втрати серед рятувальників, які беруть участь у розмінуванні. Внаслідок чого можна зробити висновок, що дослідження та вдосконалення методів виявлення вибухонебезпечних об'єктів є актуальною, в особливості з можливістю їх інтеграції з мобільними роботами та технічними платформами, які дозволяють зменшити небезпеку від процесу розмінування для людини оператора [2-4].

Сьогодні у світі є понад 2500 типів мін. Вони можуть бути як металевими, так і неметалевими мати контактні, неконтактні, акустичні, сейсмічні або радіоелектронні підричники. А оснащення розумними електронними пристроями забезпечує мінам більшу ефективність та меншу вразливість щодо засобів боротьби з ними. На території України отримали широке розповсюдження наступні типи мін, приклад наземних мін представлений рисунку 1:

- фугасна протипіхотна міна натискової дії (ПМН-2, ПФМ-1, ПФС-1С);
- кумулятивно-фугасна протитанкова міна (ПТМ-3);
- уламкова протипіхотна міна кругового ураження (ОЗМ – 72, ПОМ-2);
- фугасна протитанкова міна (ТМ-62М).

Міністерство освіти і науки України



**NURE**

Харківський національний університет  
радіоелектроніки

## **ЗБІРНИК**

**студентських наукових статей**

«Автоматизація та приладобудування»

«Automation and Development of Electronic Devices»

**ADED-2023**

(Випуск 2)

[електронне видання]



<http://nure.ua/department/kafedra-komp-yuterno-integrovanih-tehnologiy-avtomatizatsiyi-ta-mehatroniki-kitam>



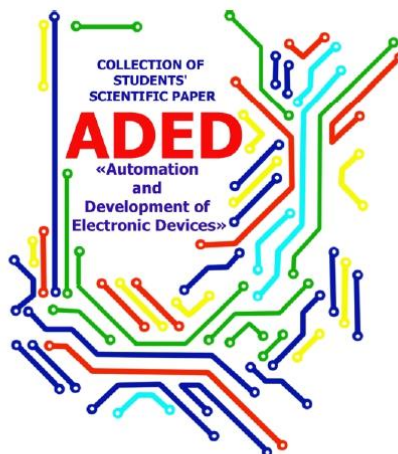
<http://itez.zntu.edu.ua/>



<http://kafea.kdu.edu.ua>

Харків 2023

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки  
кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки  
(КІТАР)



## **ЗБІРНИК**

**студентських наукових статей**

«Автоматизація та приладобудування»

«Automation and Development of Electronic Devices»

**ADED-2023**

(Випуск 2)

[електронне видання]

Харків 2023

- Головий редактор** **Невлюдов Ігор Шакирович**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.
- Редакційна колегія:** **Филипенко Олександр Іванович**, доктор технічних наук, професор, декан факультету Автоматики та комп'ютеризованих технологій, Харківського національного університету радіоелектроніки.  
**Цимбал Олександр Михайлович**, доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.  
**Андрусевич Анатолій Олександрович**, доктор технічних наук, професор, начальник Криворізького коледжу національного авіаційного університету  
**Косенко Віктор Васильович**, доктор технічних наук, професор, зам. директора Державного підприємства «Південний державний проектно-конструкторський та науково-дослідний інститут авіаційної промисловості».  
**Замірець Микола Васильович**, доктор технічних наук, професор, директор Державного підприємства Науково-дослідного технологічного інституту приладобудування.  
**Свищ Володимир Митрофанович**, доктор технічних наук, професор, радник директора Державне науково-виробниче підприємство «Об'єднання Комунар».  
**Фомовська Олена Владиславівна**, кандидат технічних наук, доцент завідувач кафедри «Електронних апаратів» Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського.  
**Кухаренко Дмитро Володимирович**, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Електронних апаратів» Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського  
**Демська Наталія Павлівна**, кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.  
**Фурманова Наталія Іванівна**, кандидат технічних наук, доцент, в.о. декана факультета Радіоелектроніки і телекомунікацій, Національного університету «Запорізька політехніка».
- Відповідальний редактор:** **Євсєєв Владислав Вячеславович**, доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.

Автоматизація та Приладобудування («Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2023) [Електронний ресурс]: збірник студентських наукових статей / Харківський національний університет радіоелектроніки ; [редкол.: І.Ш. Невлюдов та ін.]. – Харків : ХНУРЕ, 2023. – Вип. 2. – 408с.

Collection of Students' Scientific Paper «Automation and Development Of Electronic Devices» ADED-2023 Part 2 (Key infrastructure 2023) - Kharkiv/ The Editorial.: Nevlyudov I.Sh. (head), that all. Kharkiv: Kind of Kharkiv National University of Radio Electronics [electronic edition], 2023. – 408p with.

Рекомендовано рішенням  
Науково-технічної ради  
Харківського національного  
університету радіоелектроніки  
протокол №6 від 29.11.2018

Рекомендовано рішенням Вченої ради  
факультету Автоматики і комп'ютеризованих технологій  
Харківського національного  
університету радіоелектроніки  
протокол № 4 від 30.11.2023

Збірник містить наукові статті здобувачів першого (бакалаврського), другого (магістерського) рівнів вищої освіти кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (КІТАР) Харківського національного університету радіоелектроніки, кафедри Інформаційних технологій електронних засобів (ІТЕД) Запорізького національного технічного університету та кафедри Електронних апаратів (ЕА) Кременчуцького національного університету ім. М. Остроградського які навчаються за спеціальностями: 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, 172 Телекомунікації та радіотехніка, 171 Електроніка та 163 Біомедична інженерія. Статті надані в авторській редакції.

©ХНУРЕ, 2023 рік

<i>В.А. Савін</i>	
Класифікація роботизованих систем для пошуку вибухонебезпечних предметів .....	319
<i>М. Збітнєв</i>	
Аналіз мобільних робототехнічних платформ для гуманітарного розмінування .....	329
<i>В.А. Сторожук В.А., М.А. Вісковатов</i>	
Розробка інтелектуального модуля для моніторингу параметрів на базі ІоТ .....	334
<i>М.В. Толстий</i>	
Аналіз методів намотування дротів на станках з ЧПУ у роботизованому виробництві .	340
<i>В.В. Цешевський</i>	
Огляд сучасних конструктивних схем роботів для переміщення сходами .....	354
<i>О.О. Зибенко</i>	
Інновації та досягнення в електророзробній обробці: формування комп'ютерно-інтегрованого виробництва .....	356
<i>К.О. Левченко</i>	
Моделювання автоматизованого комплексу безтарного сховища сировини .....	361
<i>О.Д. Нікулін</i>	
Конвеєрні технології та автоматизація у аддитивному виробництві .....	364
<i>Д.В. Пархоменко</i>	
Аналіз систем інжекції з'єднувальної речовини у технології 3D друку 3DP .....	370
<i>К.Є. Скрипник</i>	
Моделювання та розрахунок дозування пластику у шнековому екструдері .....	374
<i>С.Ю. Мірошніченко</i>	
Автоматизована система управління для знешкодження вибухонебезпечних предметів	381
<i>В.Є. Тараненко</i>	
технологія екструзійного 3D друк без підтримок .....	386
<i>Є.О. Зуєв, М.Ю. Лучанінов</i>	
Дослідження методів автономного позиціонування та навігації робототехнічних мобільних платформ .....	390
<i>О.С. Пащенко, К.О. Зозуля</i>	
Сучасне виробництво з використанням комп'ютерного управління та інформаційних технологій .....	394
<i>Є.Г. Федосєєв</i>	
Аналіз методів імітаційного моделювання технологічних процесів складання .....	401
<i>К.С. Редькін</i>	
Локальна навігація мобільного робота в приміщенні .....	404

УДК 004.896

### КЛАСИФІКАЦІЯ РОБОТИЗОВАНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ПОШУКУ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ПРЕДМЕТІВ

**В.А. Савін**

Харківський національний університет радіоелектроніки

Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14

Email: vladyslav.savin@nure.ua

**Анотація:** Дана стаття присвячена аналізу сучасних методів виявлення вибухонебезпечних предметів та класифікації роботизованих платформ для розмінування. Проведено порівняння роботів для розмінування та наведено звітну таблицю з їх основними характеристиками. Також проведено аналіз сенсорної системи роботів для розмінування та знешкодження вибухонебезпечних предметів. Більш детально розглянуто метод підвищення ефективності визначення мін з використанням контролера нечіткої логіки.

**Ключові слова:** класифікація, методи виявлення, роботизована платформа, розмінування, сенсорні системи.

### DEVELOPMENT OF A STRUCTURAL DIAGRAM OF A MOBILE MANIPULATION PLATFORM FOR DEMINING

**V. Savin**

Kharkiv National University of Radio Electronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky av.,14

Email: vladyslav.savin@nure.ua

**Abstract:** This article is devoted to the analysis of modern methods of detection of explosive objects and classification of robotic platforms for demining. A comparison of demining robots is made and a report table with their main characteristics is provided. An analysis of the sensor system of robots for demining and disposal of explosive objects was also carried out. The method of increasing the efficiency of mine detection using a fuzzy logic controller is considered in more detail.

**Keywords:** classification, detection methods, robotic platform, demining, sensor systems.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Безпека людини має першочергове значення в сучасному світі, насиченому зброєю, і тому потреба врахувати безпеку армійського персоналу та людей, які живуть у районах, небезпечних для війни, стає дуже важливою.

Наземна міна – це, по суті, вибуховий пристрій, захований ворогом під землею, і вибухає, коли будь-яка людина або транспортний засіб переступають або проїжджають через нього. Детонатором вибуху міни є тиск, створюваний особовим складом або автотранспортом на ґрунт, під яким закладена міна. Пошкодження, спричинені вибухом наземної міни, є смертельними, тому виявлення протипіхотних мін стає необхідним до того, як армійський персонал або автомобіль випадково переступить через них. Основним завданням є виявлення цих протипіхотних мін без вибуху та знешкодження їх після виявлення. Але будь-яке ручне втручання людини завжди небезпечно.

Роботи використовуються для різних застосувань у промисловій сфері, він виконує різноманітну діяльність і стає все більш досконалим. Ось чому сьогодні для виявлення мін використовуються роботизовані транспортні засоби та безпілотні роботи.

Роботи завжди надійні з точки зору досконалості виявлення, і під час цього жодне людське життя не загрожує. Автоматичний робот, здатний виявляти закопані наземні міни та знімати їх

з місця розташування, водночас дозволяючи оператору керувати роботом без проводів на відстані.

Виявлення закопаної міни здійснюється за допомогою металошукачів, оскільки більшість наземних мін містять металеві компоненти. Робот рухатиметься заздалегідь прокладеною траєкторією. Автоматизована система дозволяє оператору залишатися на безпечній відстані, дозволяючи йому керувати роботом без проводів або дистанційно.

**ОСНОВНА ЧАСТИНА.** Знешкодження вибухонебезпечних боєприпасів (EOD) можна визначити як виявлення, ідентифікацію, оцінку на місці, переведення в безпечний стан та остаточне знешкодження вибухових боєприпасів, що не вибухнули. Даний термін також може включати вибухонебезпечний боєприпас, який став небезпечним через пошкодження або псування.

Існує багато методів знешкодження бомби чи вибухового предмета, вибір якого залежить від кількох змінних. Найбільшою змінною є близькість вибухівки чи пристрою до людей чи критичних об'єктів. З предметами у відкритих полях обробляються значно інакше, ніж у густонаселених районах.

Роль вибухотехніка полягає в тому, щоб виконати своє завдання максимально віддалено. Насправді покласти на бомбу можна тільки в надзвичайно небезпечній для життя ситуації, коли небезпеку для людей і критичних структур неможливо зупинити.

Після того, як технік точно визначить, що це за вибухівка або пристрій і в якому стані вони наразі перебувають, він розроблює процедуру, щоб зробити їх безпечними. Це може включати такі прості речі, як заміна елементів безпеки, або такі складні, як використання потужних вибухових пристроїв для зрізання, заклинювання, зв'язування або видалення частин стрільби предметів.

**ВИЗНАЧЕННЯ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ РОБОТИЗОВАНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ПОШУКУ ТА ЗНЕСКОДЖЕННЯ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ПРЕДМЕТІВ.** Робот EOD – це мобільний робот, який використовується замість людини в операціях EOD з пошуку, виявлення та обробки вибухових матеріалів. Роботизована система складається з мобільної платформи, оснащеної рухливою рукою, захватом і сенсорною системою, яка забезпечує можливості дистанційного керування. Незважаючи на невеликі відмінності з метою підвищення універсальності, поточні зразки роботів EOD схожі за принципами роботи.

Перелік сфер застосування робота EOD можна навести як:

- виявлення вибухових речовин та маніпуляція ними;
- робота з біологічними, біохімічними та іншими небезпечними матеріалами;
- маніпуляції з підозрілими пакетами;
- нейтралізація та знешкодження боєприпасів, що не вибухнули;
- виявлення та знешкодження мін;
- збір візуальної інформації в небезпечному середовищі.

Оскільки робот EOD не є новою концепцією, багато різних типів конструкцій EOD вже використовуються у військових операціях, а також виготовлено багато прототипів. Їх потужності та можливості відрізняються, однак можна класифікувати поточні системи як роботів малого розміру та роботів більшого розміру.

Роботи невеликого розміру в основному використовуються для огляду та збору візуальної інформації. Їх вантажопідйомність невелика, менше 10 кг. З іншого боку, роботи другого класу більші та відносно сильніші. Вони також мають набагато вищу вантажопідйомність. Більшість мобільних платформ використовують гусениці для кращого зчеплення, а деякі типи роботів надають комплекти для перетворення гусениць на колеса. На додаток до переваги більшого зчеплення, гусениці забезпечують високу маневреність і легкість керування.

Гусенична машина TEODOR2 оснащена 2 акумуляторними батареями по 12 вольт по 85 А/год кожна, 6-вісним силовим маніпулятором з телескопічним нижнім важелем, який має телескопічну зону 400 мм і захват (рисунок 1).

Візуальна система складається з поворотно-нахильної головки, яку можна окремо вибрати як кріплення для основної камери, і ще двох додаткових камер для детального перегляду.

Управління роботом здійснюється з пульта керування шляхом активації кожного суглоба окремо з панелі керування та керування рухом відповідно до візуальної інформації, що відображається на моніторі.

Vanguard MK2 має шарнірний важіль і низький профіль, щоб досягти вузьких місць, наприклад під автомобілями (рисунок 2).



Рисунок.1 – Роботизований засіб TEODOR



Рисунок 2 – Роботизований засіб Vanguard MK2EOD Robot

Пересування забезпечується гусеницями з незалежним приводом. Рука маніпулятора має 3 ступені свободи, за винятком паралельного захвату з 2 щелепами, який має 3 ступені свободи.

Система маніпулятора має вантажопідйомність 16 кг у відведеному положенні та 7 кг у повністю виведеному положенні руки. Враховуючи невелику вагу та розміри, які дозволяють роботу помістити в багажник автомобіля, Vanguard MK2 EOD Robot можна віднести до малорозмірних роботів. Робот оснащений камерою з поворотом, нахилом і масштабуванням на 360° та дисплеєм ноутбука для дистанційного керування. Рукою можна керувати в суглобовій щільності торканням клавіатури або джойстиком. Вузька ширина порівняно з довжиною тіла та руки обмежує здатність до керування, коли рука працює вбік.

MK-5 – це потужний EOD робот, який пропонується з двома руками: одна для звичайних операцій, а інша для високої точності та спритності операцій (рисунок 3).

Залежно від застосування та вибору маніпулятора, кількість шарнірів збільшується до 7. Робот приводиться в рух колесами або модульними гусеницями, які кріпляться поверх наявних коліс. Робот має паралельний 2-щелепний захват для роботи з вибухівкою та підозрілими пакетами. В конструкції робота застосовуються різні кінцеві механізми, але система швидкої зміни захватів недоступна, тому робот повинен повернути маніпулятор в початкове положення, щоб змінити захват, коли для цього настає потреба.

За принципом конструкції Wheelbarrow Robot дуже схожий на роботів TEODOR і MK-5, за винятком унікального шарнірного гусеничного механізму (рисунок 4).



Рисунок 3 – Робот МК-5 EOD Robot



Рисунок 4 – Робот Wheelbarrow Super-M

Цей механізм змінює положення коліс, що забезпечує кращі ходові якості на пересіченій місцевості. Двосторонній зв'язок і керування роботом або камерою можна здійснити за допомогою дротового кабелю, волоконно-оптичних або радіочастотних каналів.

Робот Wheelbarrow оснащений кількома телевізійними камерами для дистанційного спостереження, як за навколишнім середовищем, так і за деталями захоплення. Залежно від типу кінцевого ефектора плече маніпулятора має 5-7 ступенів свободи і приводиться в дію як лінійними, так і обертальними двигунами.

Робот Robhaz DT2 є єдиним некомерційним роботом серед зазначених вище роботів EOD. Він представляє подвійні гусениці з кожного боку, які можуть обертатися незалежно одна від одної (рисунок.5).



Рисунок 5 – Робот Robhaz-DT2

Пасивний поворотний шарнір з'єднує передню частину корпусу із задньою, забезпечуючи хорошу пристосованість до умов пересіченої місцевості. Крім того, робот оснащений маніпулятором із 6 ступенями свободи, яким керує тактильний джойстик. Тактильний пристрій із 6 ступенями свободи значно полегшує контроль маніпуляторів, але не може подолати проблему контролю простору суглобів.

Оскільки робот Robhaz DT2 не є комерційним проектом, можливості та продуктивність EOD нижчі, ніж у комерційних роботів, заявлених раніше. Проте блок тактильного керування

є багатообіцяючим методом з точки зору швидкості та точності порівняно з традиційними механізмами маніпулятора з керуванням суглобовою щілини.

На рисунку 6 показана конструкція двоколірного механізму ROBHAZ-DT3.

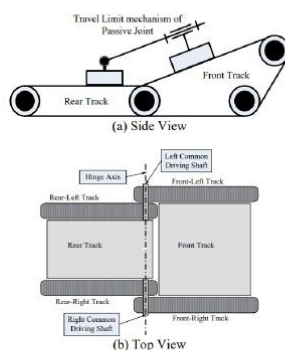


Рисунок 6 – Конструкція двоколірного механізму ROBHAZ-DT3

Механізм подвійної гусениці складається з двох частин, що приводяться в рух одним двигуном для кожної сторони. ROBHAZ-DT3 складається з трьох частин: переднього корпусу з гусеницею, заднього корпусу з гусеницею та механізму обмеження ходу пасивного шарніра. Передня ліва і задня ліва гусениці (або передня права і задня ліва гусениці) на мають загальний ведучий вал, і відповідний двигун для приведення його в дію. Таким чином, дві гусениці з кожного боку обертаються в тому ж напрямку, що й ведучий вал. Пристосованість до нерівностей місцевості досягається шляхом приєднання передньої та задньої частини корпусу через шарнірне з'єднання без будь-якого приводу. Вісь шарніра збігається з віссю приводного валу. Рисунок 7 ілюструє пасивний відносний рух між переднім і заднім частинами робота.

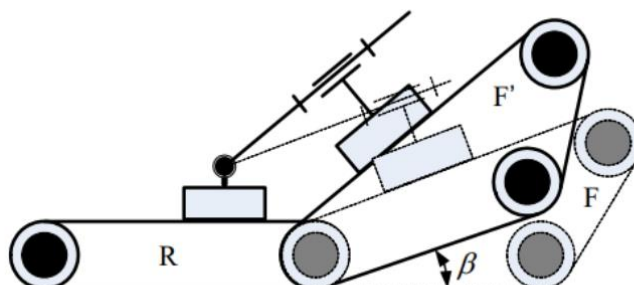


Рисунок 7 – Відносний рух між переднім і заднім частинами робота

Коли передня доріжка обертається під кутом  $\beta$  від початкового стану F до довільного кінцевого стану F'.

Зміна конфігурації призведе до зміни центру ваги або ZMP (Zero Moment Position – положення нульового моменту), що впливає на стійкість робота на пересіченій місцевості. Відомо, що одноколірні механізми мають обмеження на пересіченій місцевості через фіксований центр ваги в локальній рамі, що значно впливає на запас стійкості (мінімальна

довжина між центром ваги та краями опорної зони). Запас стійкості в легкості одноколіяного робота визначається лише іншим фактором, таким як нахил рельєфу. Тому для подолання цього обмеження розроблено ланцюговий механізм із кількома корпусами гусениць. За допомогою двоколіяного механізму центр маси змінюється, а опорна площа також змінюється внаслідок пасивного руху під час руху по рельєфу.

Перевага двоколіяного механізму показана на прикладі підйому по сходах, як показано (рисунок 8).

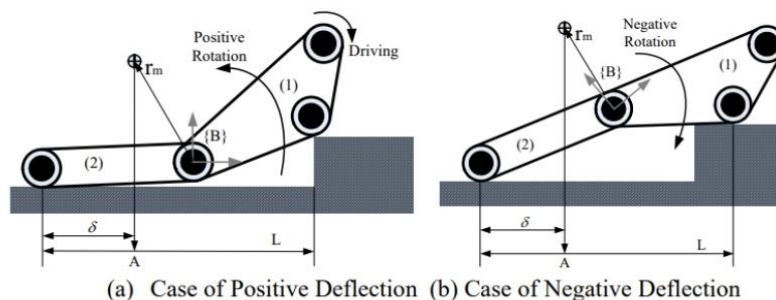


Рисунок 8 – Перевага двоколіяного механізму на прикладі підйому по сходах

Сходи є одним із прикладів рельєфів для перевірки мобільності транспортного засобу, і він широко використовується в багатьох дослідженнях, пов'язаних із розробкою транспортного робота для таких нерегулярних рельєф місцевості. Для простоти приклад намальовано у двовимірній вертикальній площині.  $\{B\}$  – система координат, фіксована тілом, а  $r_m$  – вектор положення центру ваги.  $L$  – це лінія в проекції, що представляє опорну площу. Точка  $A$  – центр ваги, спроектований на опорну площу, а  $\delta$  – запас стійкості.

Під час підйому по сходах як позитивна, так і негативна дуга обертання спостерігаються на рисунку 8. У ситуації на рисунку 8(b), наприклад, опорна площа збільшується порівняно з площею на рисунку 8(a). Загальна проекція  $L$  була б коротшою задля одноколіяності. Це означає, що двоколіяна конструкція має перевагу в низькому центрі ваги та великому запасі стійкості.

Потрібно зауважити, що для генерації обертання не використовується виконавчий механізм, а обертання здійснюється лише силою тяжіння на даній формі рельєфу. Таким чином, пасивність може покращити адаптацію до нерівної місцевості, а рух (тобто позитивне та негативне відхилення) відбувається послідовно під час підйому по сходах.

Розглянуті пристрої представлені на ринку у вигляді різних конструкцій маніпуляторів та кінцевих ефекторів (захватів), які мають в середньому 6-7 ступенів свободи. Враховуючи спектр завдань, що вирішуються в процесі експлуатації, одного типу конструкції кінцевого ефектора видається недостатнім, тому виробником представлено два або більше альтернативних захватів. Однак, щоб змінити кінцевий ефектор, робот повертається на базу і втрачає час.

Живлення для приводу двигунів і зв'язку з базою зазвичай забезпечується кабелем. Деякі бренди додатково пропонують радіочастотні елементи керування та батареї для підвищення мобільності.

Якщо врахувати робочі умови, кабель може застрягти або пошкодитися, спричинивши втрату живлення або зв'язку.

Звичайні системи застосовуються принаймні до двох або більше камер для основного та детального перегляду. Зазвичай одну камеру розміщують у задній частині транспортного засобу для широкого кута огляду та включають масштабування, а іншу розміщують ближче до

частини захоплення для детального перегляду матеріалу та виконання завдання. В деяких пристроях, обидві камери мають опцію нічного бачення та інфрачервоного випромінювання.

Однак найбільшою проблемою сучасних систем є механізм керування положенням маніпулятора і кінцевого ефектора. Роботи для розмінування на ринку використовують контроль положення суглобів, щоб розташувати кінцевий ефектор, що ускладнює поведінку з рукою та втрачає час і універсальність.

Оператор контролює кут кожного з'єднання окремо, тому для досягнення точного положення та орієнтації кінцевого ефектора потрібна низка регулювань. Для спеціальних завдань, де точність дуже важлива, цей метод контролю недостатній і занадто повільний для виконання поставленого завдання. Крім того, кожним двигуном цих роботів потрібно керувати окремо, що ускладнює роботу порівняно з автономними мобільними роботами.

Порівняння роботів для розмінування, що присутні на ринку наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняння роботів для розмінування

Робот Параметр	tEODor	Vanguard MK2	ESIT MK5	Wheelbarrow Super M	Robhaz DT2
Кількість ступенів свободи маніпулятора	6	7	6	7	4
Метод контролю	Спільний простір	Спільний простір	Спільний простір	Немає інформації	Спільний простір (тактильний пристрій)
Розміри (ДхШхВ)мм	1100x680 x 300	920x440x 410	1170x700x 940	Немає інформації	690x500x 910
Вага	360 кг	55 кг	350 кг	Немає інформації	145 кг
Максимальна вага, що підіймається маніпулятором	20 кг	5 кг	Немає інформації	Немає інформації	Немає інформації
Максимальна довжина маніпулятора	1750 мм	1320 мм	Немає інформації	Немає інформації	Немає інформації
Швидкість	3 км/г	1-2 км/г	2-4 км/г	4 км/г	10 км/г
Автономність	Немає	Немає	Немає	Немає	Немає
Швидка заміна захвату	Немає	Немає	Немає	Немає	Немає
Механізм руху	Гусениці	Гусениці	Колеса	Гусениці	Гусениці
Засоби візуалізації	2 камери	2 камери	2 камери	4 камери	Немає
Живлення	Батарея	Кабель або батарея	Батарея	Батарея	Немає інформації
Дистанція керування	200 м	360 м	Немає інформації	Немає інформації	Немає інформації
Нічне бачення	Є	Опція	Немає	Є	Немає інформації

АНАЛІЗ СЕНСОРНОЇ СИСТЕМИ РОБОТІВ ДЛЯ РОЗМІНУВАННЯ ТА ЗНЕШКОДЖЕННЯ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ПРЕДМЕТІВ. Система зору мобільного робота

складається з відеокамери та комп'ютерного блоку для обробки отриманих зображень. Поки ця система визначає положення робота, вона також може вимірювати положення об'єктів у кадрі зображення. Таким чином, порівнюючи зображення із задалегідь визначеним шаблоном, система може розпізнати сцену або сам об'єкт. Крім того, зір є єдиною системою, яка може розпізнати колір об'єкта.

З іншого боку, отримання корисної інформації із зображень є складним завданням, враховуючи, що системі доводиться працювати з природними об'єктами в умовах природного освітлення. Крім того, для складних зображень потрібні потужні комп'ютери. Успішного вимірювання глибини об'єктів з одного кадру зображення недостатньо для точного позиціонування, особливо коли враховується розмиття через вібрацію. Оскільки обробка зображень в основному залежить від різниці кольорів і контрастності в кадрі зображення, точність систем зору неоднакова і зазвичай залежить від програми.

Проведений аналіз показав, що найчастіше робот містить дві кольорові камери високої роздільної здатності. Ширококутна зум-камера, встановлена на задній стороні шасі, а камера меншого розміру, встановлена ближче до кінцевого ефектора для детального перегляду предмету. Сцена робочого простору, отримана з обох камер, відображається на моніторі ноутбука на базі керування, і зображення можна перемикає залежно від вимог операції.

Лазерна система працює на основі оцінки відбитих лазерних променів, які випромінює блок, встановлений на мобільній платформі. Однією з найбільших переваг є його простота з точки зору принципу та застосування. Крім того, звичайні лазерні системи дуже поширені як вимірювальні пристрої в промисловості, ця доступність означає, що різні типи доступні за порівняно низькою ціною.

Головна перевага цієї сенсорної системи полягає в тому, що на неї не впливають умови освітлення. Тим не менш, лазерні системи, які покладаються на лазер, встановлений на транспортному засобі, мають значний недолік при використанні на пересіченій місцевості. Нахил мобільної платформи робота може призвести до того, що лазерний промінь не влучить у цілі, якщо промінь не розходиться вертикально. Ця розбіжність серйозно зменшує практичний робочий діапазон, оскільки вихідна потужність обмежена потребою, щоб система була безпечною для очей. Крім того, велика кількість пилу або туману може перешкоджати роботі системи.

Радар використовується для вимірювання відстані транспортного засобу до природних і штучних орієнтирів або об'єктів на відкритому повітрі. Принцип роботи в роботах дуже схожий на той, який використовується у військово-морських радіолокаційних устаткуваннях – радіолокаційні сигнали випромінюються, а потім відбиваються від об'єктів.

Звичайні радіолокаційні пристрої застосовують штучні опорні орієнтири, які встановлюються на полях і визначають положення транспортного засобу шляхом триангуляції їх відстаней до робота.

Одна з найважливіших переваг полягає в тому, що можна досягти діапазону в кілька сотень метрів, незважаючи на те, що промінь розходиться вертикально, щоб забезпечити невеликий ступінь нахилу робота. Крім того, радарні системи менш сприйнятливі до кліматичних змін, ніж системи оптичних датчиків.

Сонарні датчики випромінюють звукові хвилі та вимірюють час відлуння між датчиком і об'єктом. Обчисливши цей час відлуння, можна легко знайти відстань через те, що звукові хвилі рухаються в повітрі з постійною швидкістю. У більшості застосувань звукові хвилі випромінюються часто, і обчислення зосереджуються на часі, який потрібен звуковим хвилям, щоб досягти відбивної поверхні та повернутися до приймальної частини датчика.

Залежно від типу імпульсного випромінювання можна розпізнавати різні типи об'єктів, оцінюючи частотний спектр хвиль, відбитих від об'єкта (експериментальна система може

розпізнавати чотири різні типи перешкод). Іншою перевагою є те, що звичайні ультразвукові датчики недорогі та широко використовуються в промислових цілях.

Однак ці датчики чутливі до руху повітря та навколишнього ультразвукового шуму, значна частина яких може бути створена самим роботом. Крім того, час оновлення даних низький для великих відстаней через паузу для розрахунків часу польоту.

GPS вимірює відстань, використовуючи час проходження радіосигналів від супутників на орбіті Землі до пристрою GPS на землі, а положення обчислюється методом триангуляції. Щоб виміряти точний час у дорозі та положення, пристрій GPS має бути прив'язаний щонайменше до чотирьох супутників.

Більше того, щоб досягти вищої точності, ніж та, яку отримує звичайний GPS-пристрій, можна використовувати вдосконалені системи, які називаються диференціальним GPS (D-GPS) і кінематичним GPS у реальному часі (RTK-GPS). Ці системи використовують станцію радіомаяка на земній поверхні для порівняння інформації, отриманої від супутників, щоб можна було зменшити помилки, викликані впливом навколишнього середовища. Точність підвищується, коли відстань між транспортним засобом і радіомаяком зменшується.

Потреба в ряді маяків, необхідних для лазерних і радарних систем, і труднощі їх позиціонування в точній геометрії усувається, а точність до сантиметрового рівня забезпечується за допомогою D-GPS або RTK-GPS. На ці системи не впливають вібрація, звук і орієнтація роботи. Крім того, для вдосконалених пристроїв можна припустити, що погодні умови не погіршать їх ефективність.

Оскільки технологія GPS не потребує довідкової інформації з землі, проблеми, пов'язані з пробуксовкою коліс, можна легко вирішити.

Однак затримка часу, спричинена обробкою сигналу для визначення розташування та орієнтації, кидає виклик системі керування на високих швидкостях. Крім того, на систему впливає наявність будівель, дерев або рельєф, а також переривання супутникових або диференціальних сигналів корекції. Крім того, оскільки він використовує абсолютні координати замість інформації про навколишнє середовище, для точного вимірювання у вертикальних координатах потрібні допоміжні пристрої, що означає додаткові витрати та час обробки.

Існує три стратегії визначення наземних мін. По-перше, це ручне виявлення. Ручне виявлення мін є дуже важким і небезпечним процесом, і потребує значного часу для обробки великих ділянок, щоб знайти всі міни. Також потрібно брати до уваги той факт, що пластмаси та композитні матеріали також використовуються для виготовлення мін, а також матеріали з низьким вмістом металу. Все це ускладнює виявлення небезпечних предметів.

Другий спосіб – визначення за допомогою механічного обладнання. Третій – за допомогою передових робототехнічних технологій. Повністю автономний робот може використовуватися для виявлення мін.

Модель нечіткого регулятора системи керування рухом мобільного робота, використовує нечітку логіку на основі ймовірнісного підходу. Метод розроблено для пошуку наземних мін за допомогою автономного робота, що повідомляє про розташування мін.

Пристрій передає зібрану інформацію на сервер бездротовим способом. Роботом керують дистанційно, він отримує команди та рухається відповідно до заданого маршруту.

Технології, що використовуються для виявлення наземних мін: рентгенівське випромінювання, електроімпульсна томографія (EIT), виявлення парів вибухових речовин (EVD). Також застосовується ефективний метод виявлення та класифікації типів протипіхотних мін на основі ПЧ-зображень із використанням нейронної мережі.

Запропонований метод передбачає використання автономного робота, який може автоматично рухатися без будь-якого втручання людини, і виявляти міни за допомогою

прикріплених до нього датчиків. В разі виявлення міна, він фіксує її місце розташування, і інформація потрапляє до серверу баз даних передана за допомогою IoT.

На рисунку 9 показано запропонований потоковий граф методу визначення мін з використанням нечіткої логіки.

Даний метод передбачає застосування декількох датчиків для підвищення ефективності виявлення вибухонебезпечних предметів. Одночасно застосовуються металодетектор для виявлення металевих предметів та веб-камера для ідентифікації знайдених предметів. Додатково веб-камера використовується для визначення пластикових мін за їх візуальними ознаками.

Інформація із різних датчиків надходить до контролеру нечіткої логіки, де приймається рішення про знайдених предмет.

Контролер нечіткої логіки працює з двома входами: помилка швидкості та помилка зміни швидкості (рисунок 10). Першим кроком є застосування нечіткого контролера, який визначає стани, відповідальні за продуктивність системи. Лінгвістичні змінні використовуються в контролері нечіткої логіки.

Фазифікація – це процес перетворення набору вхідних даних у чіткий набір. Для перетворення вхідних даних використовуються три типи фазифікаторів: сингтонний фазифікатор, фазифікатор Гауса та трикутний фазифікатор. На вхідних і вихідних наборах даних використовуються фазифікатори Гауссена і Трикутник.

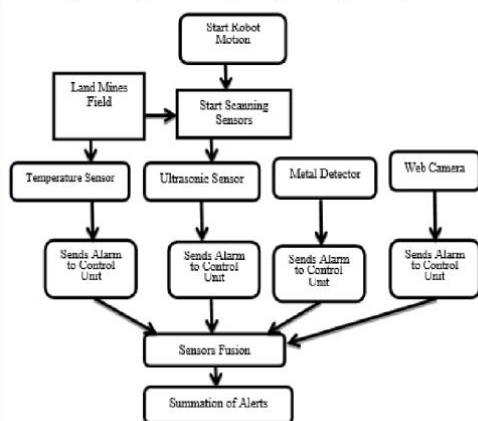


Рисунок 9 – Потоковий граф методу визначення мін

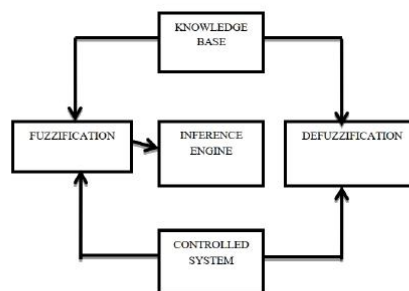


Рисунок 10 – Блок-діаграма контролера нечіткої логіки

Лінгвістичні нечіткі коди оформляються у форматі «ЯКЩО ТО». Умови та висновок задачі задаються у форматі ЯКЩО та ТО, а сигнали керування виробляються на основі вхідних умов.

Механізм логічного висновку – це не що інше, як програмний код, який використовується для виконання нечіткої логіки, що застосовується для вирішення поставленої задачі. Механізм логічного висновку працює як комп'ютерна програма, яка діє безперервно, як наш людський мозок.

**ВИСНОВКИ.** В результаті дослідження роботи було проведено аналіз існуючих систем контролю під час виготовлення 3D деталей на потоковому роботизованому виробництві. Проведено аналіз конструкцій та принципу роботи роботизованих засобів для виявлення вибухонебезпечних предметів. Розглянуті різні роботи різних виробників, наведені

кінематичні схеми та структурні схеми системи керування. Виконано порівняння роботів для розмінування та наведено звітну таблицю з їх основними характеристиками.

Виконано аналіз сенсорної системи роботів для розмінування та знешкодження вибухонебезпечних предметів та наведено таблицю з порівнянням можливостей сенсорних систем.

Розглянуто метод підвищення ефективності визначення мін з використанням контролеру нечіткої логіки. Розглянутий метод використовує декілька датчиків для підвищення ефективності виявлення вибухонебезпечних предметів. Одночасно застосовуються металодетектор для виявлення металевих предметів та веб-камера для ідентифікації знайдених предметів. Таким чином вдається виявляти не тільки металеві вибухонебезпечні предмети, а й пластикові міни.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Igor Nevliudov, Shakhin Omarov, Serhii Tesliuk, Serhii Novoselov, Oksana Sychova. Robot group interaction technology using a cloud server / Eskişehir Technical Univ. J. of Sci. and Tech. A – Appl. Sci. and Eng.– 2022.

2. Невлюдов І.Ш., Андрусевич А.О., Євсєєв В.В. Підручник. – Харків: 2020. С. 257.

3. Новоселов С.П. Багатопотокове програмне керування рухом промислового маніпулятора / Новоселов С.П., Сичова О.В., Теслюк С.І. Міжнародна науково-практична конференція "Інтелектуальні інформаційні системи в управлінні проектами та економіці в умовах воєнного стану", 13–16 вересня 2022 року у місті Коблево. С. 92-95.

4. Невлюдов І.Ш. Визначення координат мобільного робота у промисловому приміщенні з використанням технології BLE на основі даних RSSI, отриманих від базових станцій / І.Ш. Невлюдов, С.П. Новоселов, О.В. Сичова, С.І. Теслюк // Радіотехніка. – 2022.– вип. 209, с. 185-191. DOI:10.30837/rt.2022.2.209.18

5. Sergiy Novoselov, Oksana Sychova, Serhii Tesliuk. Algorithm for Finding the Optimal Way to Move a Mobile Platform Among Indefinite Obstacles. // IV International Scientific and Practical Conference «Theoretical and Applied Aspects of Device Development on Microcontrollers and FPGAs» MC&FPGA-2022, Kharkiv, Ukraine, June 23-24, 2022. – Kharkiv: NURE, MC&FPGA, 2022. – P. 21-23. DOI: DOI: 10.35598/mcfpga.2022.007

6. Новоселов С.П. Автоматизація прокладення шляху в просторі на основі даних з сенсорів мобільних роботів / С.П. Новоселов, С.І. Теслюк // Автоматизація, електроніка та робототехніка. Стратегії розвитку та інноваційні технології AERT-2022. – Харків, ХНУРЕ, 2022.

*Рецензент: Теслюк Сергій Ігорович, старший викладач кафедри КІТАМ Харківського національного університету радіоелектроніки.*

**ДОДАТОК Б**

Демонстраційний матеріал

