

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Чорноморський національний університет імені Петра Могили
Факультет комп'ютерних наук
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

ДОПУЩЕНО ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри автоматизації та
комп'ютерно-інтегрованих технологій

_____ М. І. Сіделєв
« ____ » _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА
ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗЛЮДНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ЗБОРУ ВРОЖАЮ
В УМОВАХ ЗЕЛЕНИХ ФЕРМ

Спеціальність 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка

Освітня програма: «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка»

Здобувач

_____ **В.О. Митрохін**
« ____ » _____ 20__ р.

Керівник д. т. н., професор

_____ **О.М. Трунов**
« ____ » _____ 20__ р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Чорноморський національний університет ім. Петра Могили
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет, відділення: Комп'ютерних наук

Освітньо-кваліфікаційний рівень: рівень вищої освіти другий (магістр)

Напрямок підготовки 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації
Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології
та робототехніка»

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
В.о.завідувача кафедри

Сіделєв М. І. _____
“___” _____ 2024 р

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ НАУКОВУ РОБОТУ

Митрохін Володимир

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи)

Застосування безлюдних технологій для збору врожаю в умовах зелених ферм

2. Керівник проекту (роботи) доктор техн. наук, професор, О. М. Трунов
затверджені наказом вищого навчального закладу від “30”10 2024 р. №_298

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 18.06.2025

3. Вихідні дані до проекту (роботи)

Підприємства переробної промисловості, до складу функцій яких входять автоматизовані системи збору сільськогосподарської продукції. Одним із вузьких місць якої є система збору продукції пальметного саду, та інших фруктів. Висота дерев 2,5-3,5 метрів, форма округла правильна, відстані між рядами 5м, довжина рядо до 200 метрів.

3. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

1) огляд сучасних підходів та автоматизованих систем просторового контролю стиглості, збору та контролю лишків, завантаженості бункерів, протоколювання результатів збору та прогноз дозрівання;

2) обґрунтування вибору методів, моделей, апаратного забезпечення та програмного середовища розв'язку задач контролю рівня стиглості та початку збору;

3) розробка системи виміру рівня заповнення потребує захисту та здатна проводити експрес виміри;

4) моделювання динаміки елементів системи та синтез систем керування структурними елементами.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Блок-схеми систем, рисунки загальних видів елементів конструкцій, схематичні зображення, блок схеми алгоритмів програм, екранні відображення фрагментів ПЗ (скрін-шоти), осцилограми процесів результатів моделювання роботи елементів. Презентація

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

озділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	Завдання прийняв
	Трунов О. М., д. т. н. професор каф. АКІТ	12.10.2023	
	Трунов О. М., д. т. н. професор каф. АКІТ	03.01.2025	
	Трунов О. М., д. т. н. професор каф. АКІТ	03.04.2025	
		19.04. 2025	

7. Дата видачі завдання «12» жовтня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН
виконання кваліфікаційної роботи

Тема: **Застосування безлюдних технологій для збору врожаю в умовах зелених ферм**

№	Найменування роботи	Початок	Закінчення	Примітки
1.	Розробка та затвердження завдання на виконання КМР	09.09.2024	30.10.2024	
2.	Огляд літератури за темою роботи	31.10.2024	15.11.2024	
3.	Складання календарного плану КМР	18.11.2024	20.11.2024	
4.	Аналіз предметної області	21.11.2024	20.12.2024	
5.	Розробка проектних рішень	23.12.2024	28.02.2025	
6.	Моделювання, конструювання та програмування СА та РТС	03.03.2025	18.04.2025	
7.	Дослідження СА та РТС, аналіз результатів	21.04.2025	16.05.2025	
8.	Відгук керівника КМР	19.05.2025	23.05.2025	
9.	Оформлення КМР та презентації	26.05.2025	04.06.2025	
10.	Попередній захист	05.06.2025	06.06.2025	
11.	Рецензування	16.06.2025	17.06.2025	
12.	Завершення оформлення КМР та презентації	18.06.2025	19.06.2025	
13.	Захист кваліфікаційної роботи	26.06.2025	27.06.2025	

Здобувач

_____ **В.О. Митрохін**
« ____ » _____ 20__ р.

Керівник Д. Т. Н., професор

_____ **О.М. Трунов**
« ____ » _____ 20__ р.

АНОТАЦІЯ

до кваліфікаційної роботи магістра

**«Застосування безлюдних технологій для збору врожаю
в умовах зелених ферм»**

Студент гр. 671м: Митрохін Володимир Олександрович

Керівник: д-р техн. наук, професор Трунов Олександр Миколайович

Актуальність теми полягає у потребі адаптації аграрного сектору до нових викликів та умов за рахунок автоматизації та мінімізації людського втручання. Практичне значення полягає у можливості впровадження розроблених рішень у сфері землеробства, міських ферм і тепличного господарства.

Мета: Підвищити ефективність збору врожаю у тепличних господарствах та на відкритому ґрунті земельних ділянок шляхом розвитку мобільних робото-технічних систем (МРТС).

Об'єкт: Автоматизація процесів керування у ході збору врожаю.

Предмет: Моделі, методи, алгоритми та засоби збору врожаю мобільними робото-технічними засобами.

Для досягнення поставленої мети були сформульовані наступні задачі:

1. Провести аналіз стану та тенденцій розвитку за даними технічної літератури та патентної інформації існуючих систем автоматизації для збору врожаю в умовах зелених ферм.
2. Скласти функціональну схему відповідно технічного завдання.
3. Вибрати і описати електронні та електротехнічні засоби для реалізації системи автоматизації
4. Скласти електричну принципову схему проекту.
5. Розробити алгоритм та виконати програмування мікроконтролерної частини АСК.
6. Розробити фізичну модель і продемонструвати роботоздатність АСК.

7. Виконати розрахункову частину з питань охорони праці.

Кваліфікаційна робота містить перелік скорочень, вступ, чотири розділи, висновок, перелік джерел посилання та один додаток.

Вступ містить основні обґрунтування актуальності розробки обраної теми, об'єкт, предмет дослідження, мету та завдання, які необхідно виконати для досягнення поставленої мети.

У першому розділі було здійснено комплексний аналіз і досліджено стан та тенденцій розвитку АСК для агропромислового сектору, вивчено існуючі аналоги та патентні рішення, визначено основні технічні завдання для проектування нової системи.

У другому розділі було розглянуто та запропоновано структуру АСК зелених ферм її складові та визначено архітектуру АСК зелених ферм, порівняно платформи і обрано одно-платний мікроконтролер для виконання функцій контролера. Визначено Arduino та ArduinoIDE як основні мови та програмні середовища для потреб АСК системи, розроблено алгоритм роботи системи та написана програма роботи захватів.

У третьому розділі було розглянуто особливості конструкцій маніпулятора і захоплювача, побудована математична модель, що визначає задачі просторового руху при переміщеннях у процесі збору врожаю. Проведено моделювання роботи приводів у середовищі Matlab інструментами Simulink за різних умов роботи сервоприводу.

У четвертому розділі розв'язано завдання з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

У висновку описано результати виконання кваліфікаційної роботи.

Додатки містять код програмного забезпечення.

В спеціальній частині з охорони праці розглянуто забезпечення вимог охорони праці на робочому місці.

Кваліфікаційна магістерська робота містить 111 сторінок (без додатків), 47 рисунків, 50 джерела посилання, 1 додаток.

Наукова новізна полягає у створенні моделі та алгоритму і ПЗ для підрахунку приводу руху пальців захоплювача за даними перехідних процесів руху пальців у вигляді передатної функції роботи приводів.

Практична значимість розробленої системи полягає у тому, що вона дозволяє автоматизувати процес збору врожаю та керувати структурними елементами, оскільки розподілена система одноплатних комп'ютерів забезпечує безпроводний зв'язок здротовими і бездротовими мережами з використанням хмарних сервісів.

1. **Апробація** результатів кваліфікаційної роботи відбувалась під час виступу з доповіддю на SMARTINDUSTRY 2025 Smart Automation & Robotics for Future Industry (report «The formulation and solution of the problem of constructing optimal trajectory as a means of eliminating socio-legal contradictions in the realization of unmanned robotic systems»), XXI міжнародній науковій конференції «ОЛЬВІЙСЬКИЙ ФОРУМ-2025 (доповідь «Формування конструктивних особливостей захвату маніпулятора збирання врожаю»).

2. **Публікації.** SMARTINDUSTRY 2025 Smart Automation & Robotics for Future Industry (report «The formulation and solution of the problem of constructing optimal trajectory as a means of eliminating socio-legal contradictions in the realization of unmanned robotic systems»); Основні положення та результати магістерської роботи опубліковані у збірці матеріалів XXI міжнародній науковій конференції «ОЛЬВІЙСЬКИЙ ФОРУМ-2025: СТРАТЕГІЇ КРАЇН ПРИЧОРНОМОРСЬ-КОГО РЕГІОНУ В ГЕОПОЛІТИЧНОМУ ПРОСТОРІ», 16-21 червня 2025 року в Чорноморському національному університеті імені Петра Могили, м. Миколаїв, в очно-дистанційному форматі. **Тема роботи:** «Формування конструктивних особливостей захвату маніпулятора збирання врожаю».

Ключові слова: маніпулятор, збирання врожаю, захоплювач, м'які оболонки, привод.

Структура і обсяг роботи: Робота містить вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел та додаток. Повний обсяг становить 123 сторінок, включаючи зміст та 5 сторінок списку використаних джерел (50 найменувань), 5 таблиць, 47 рисунків, 4 сторінок додатків.

ABSTRACT
to the qualifying master's thesis
«Application of unmanned technologies for harvesting
in green farms»

Student of group 671m: Mytrokhin Volodymyr Oleksandrovyh

Supervisor: DSc., Professor Trunov Oleksandr Mykolayovych

The relevance of the qualification work topic is due to the need to adapt the agricultural sector to new challenges and conditions through automation and minimisation of human intervention. The practical significance lies in the possibility of implementing the developed solutions in the field of agriculture, urban farms and greenhouse farming.

The aim: Increase the efficiency of harvesting in greenhouses and on open ground by developing mobile robotic systems (MRTS).

The object: Automation of control processes during harvesting.

The subject: Models, methods, algorithms and means of harvesting with mobile robotic systems.

1. To analyse the state and development trends based on the technical literature and patent information of existing automation systems for harvesting in green farms.
2. To draw up a functional diagram in accordance with the terms of reference.
3. Select and describe electronic and electrical means for the implementation of the automation system
4. Draw up an electrical schematic diagram of the project.
5. Develop an algorithm and perform programming of the microcontroller part of the ACS.
6. Develop a physical model and demonstrate the performance of the ACS.
7. Perform the calculation part of labour protection.

The relevance of the qualification work topic is due to the need to adapt the agricultural sector to new challenges and conditions through automation and minimisation of human intervention. The practical significance lies in the possibility of implementing the developed solutions in the field of agriculture, urban farms and greenhouse farming.

The aim of the study is to increase the efficiency of harvesting in greenhouses and on open ground by developing mobile robotic systems (MRTS).

The object of research is the automation of control processes during harvesting.

The subject of the study is models, methods, algorithms and means of harvesting with mobile robotic systems.

The qualification work contains a list of abbreviations, an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references and one appendix.

The introduction contains the main justifications for the relevance of the chosen topic, the object, subject of research, goal and tasks to be performed to achieve the goal.

In the first section, a comprehensive analysis was carried out and the state and development trends of the ACS for the agricultural sector were investigated, existing analogues and patent solutions were studied, and the main technical tasks for designing a new system were identified.

In the second section, the structure of the green farm ACS and its components are considered and proposed, the architecture of the green farm ACS is defined, platforms are compared, and a single-board microcontroller is selected to perform the functions of the controller. Arduino and ArduinoIDE were identified as the main languages and software environments for the needs of the ACS system, the algorithm of the system was developed and the gripper program was written.

In the third section, the features of the manipulator and gripper designs were considered, and a mathematical model was built that defines the tasks of spatial movement during movements in the harvesting process. The operation of the drives

was simulated in the Matlab environment using Simulink tools under various conditions of the servo drive.

In the fourth section, we solve the problem of labour protection and safety in emergency situations.

The conclusion describes the results of the qualification work.

The appendices contain the software code.

The special part on labour protection considers the provision of labour protection requirements at the workplace.

The qualification master's thesis contains 111 pages (without appendices), 47 figures, 50 references, 1 appendix.

The scientific novelty lies in the creation of a model and algorithm and software for calculating the drive of the gripper fingers movement based on the data of transient processes of finger movement in the form of a transfer function of the drives.

The practical significance of the developed system lies in the fact that it allows automating the harvesting process and controlling structural elements, since the distributed system of single-board computers provides wireless communication via wireless and wireless networks using cloud services.

1. The results of the qualification work were tested during the presentation at SMARTINDUSTRY 2025 Smart Automation & Robotics for Future Industry (report 'The formulation and solution of the problem of constructing optimal trajectory as a means of eliminating socio-legal contradictions in the realisation of unmanned robotic systems'), XXI International Scientific Conference 'OLVIA FORUM-2025' (report 'Formation of design features of the gripper of the harvesting manipulator').

2. Publications. Publications. SMARTINDUSTRY 2025 Smart Automation & Robotics for Future Industry (report 'The formulation and solution of the problem of constructing optimal trajectory as a means of eliminating socio-legal contradictions in the realisation of unmanned robotic systems'); The main provisions

and results of the master's thesis were published in the proceedings of the XXI International Scientific Conference 'OLVIA FORUM-2025: STRATEGIES OF THE BLACK SEA REGION COUNTRIES IN THE GEOPOLITICAL SPACE', 16-21 June 2025 at the Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv, in a full-time and remote format. Theme of the work: 'Formation of design features of the gripper of the harvesting manipulator'.

Keywords: manipulator, harvesting, gripper, soft shells, drive.

Structure and scope of the work: The work consists of an introduction, four chapters, conclusions, references and an appendix. The full volume is 123 pages, including the table of contents and 5 pages of the list of references (50 items), 5 tables, 47 figures, 4 pages of appendices.

ЗМІСТ

ВСТУП	3
1 СТАН ТА ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ АСК ТЕХНОЛОГІЇ ЗБОРУ ВРОЖАЮ	6
1.1 Технології збору врожаю автоматизованих та мобільних робото-технічних систем ..	6
1.2 Технічні засоби автоматизації процесу збору врожаю	12
1.3 Програмні рішення та алгоритми засобів автоматизації	19
1.4 Дослідження патентів на корисну модель	22
Висновки до першого розділу	35
2 РОЗВИТОК АСК БЕЗЛЮДНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ЗБОРУ ВРОЖАЮ В УМОВАХ ЗЕЛЕНИХ ФЕРМ	36
2.1 Розвиток структури АСК безлюдних технологій для збору врожаю в умовах зелених ферм	36
2.2 Розвиток конструкції захватів маніпуляторів, що придатні до збору врожаю плодоовочевих	39
2.3 Розвиток алгоритмів роботи, вибір мови програмування та розробка ПЗ	41
Висновки до другого розділу	60
3 РОЗВИТОК ТА РЕАЛІЗАЦІЯ АПАРАТНИХ ЗАСОБІВ АСК БЕЗЛЮДНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ЗБОРУ ВРОЖАЮ В УМОВАХ ЗЕЛЕНИХ ФЕРМ.....	61
3.1 Розвиток апаратних засобів АСК збору врожаю плодоовочевих	61
3.2 Розробка моделі для системи керування приводом пальців у структурі захоплювача мобільного робота	67
3.3 Синтез траєкторії руху захоплювача	72
3.4 Математична модель роботи захоплювача	73
3.5 Розробка систем керування пристроями та приводами у структурі АСК	76
3.6 Застосування середовищ для моделювання динаміки та синтезу регуляторів	79
Висновки до третього розділу	93
4 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА З ОХОРОНИ ПРАЦІ.....	95
4.1 Нормативна документація щодо забезпечення охорони праці під час використання екранними пристроями.....	95
4.2 Вимоги щодо забезпечення охорони праці під час роботи в теплицях	108
Висновки до четвертого розділу	111
ВИСНОВКИ.....	113
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	115
ДОДАТОК А.....	120

ВСТУП

Інноваційні пошуки підвищення продуктивності підприємств у більшості випадків спрямовуються на зменшення долі людської участі у загальній трудомісткості та як наслідок зменшення собівартості. Останнє досягається за рахунок впровадження автоматизації та роботизації і є однією із актуальних задач переоснащення підприємств. У більшій мірі переоснащення потребує переробна промисловість сільське господарство та особливо одна із трудомістких його галузей збору, транспортуванню та збереженню, реалізації і переробки врожаю.

У зв'язку з цим задача автоматизації та роботизації технологій і процесів стає першочерговою. Її розв'язок потребує підвищення ефективності структурних складових, у тому числі засобів збору і виміру для переробної промисловості, що виготовляє продукцію у виді сипких матеріалів. Одним із шляхів забезпечення ефективної роботи автоматизованих систем керування (АСК) такими технологічними процесами є застосування робото-технічних систем, контрольно-вимірювальних систем за допомогою інноваційних розробок, що розробляється останнім часом магістрами ОНП 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка».

Актуальність теми полягає у потребі адаптації аграрного сектору до нових викликів та умов за рахунок автоматизації та мінімізації людського втручання. Практичне значення полягає у можливості впровадження розроблених рішень у сфері землеробства, міських ферм і тепличного господарства.

Мета: Підвищити ефективність збору врожаю у тепличних господарствах та на відкритому ґрунті земельних ділянок шляхом розвитку мобільних робото-технічних систем (МРТС).

Об'єкт: Автоматизація процесів керування у ході збору врожаю.

Предмет: Моделі, методи, алгоритми та засоби збору врожаю мобільними робото-технічними засобами.

Для досягнення поставленої мети були сформульовані наступні задачі:

1. Провести аналіз стану та тенденцій розвитку за даними технічної літератури та патентної інформації існуючих систем автоматизації для збору врожаю в умовах зелених ферм.
2. Скласти функціональну схему відповідно технічного завдання.
3. Вибрати і описати електронні та електротехнічні засоби для реалізації системи автоматизації
4. Скласти електричну принципову схему проекту.
5. Розробити алгоритм та виконати програмування мікроконтролерної частини АСК.
6. Розробити фізичну модель і продемонструвати роботоздатність АСК.
7. Виконати розрахункову частину з питань охорони праці.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

- АСК – Автоматизована система керування
- БСПС – Безщіткові серводвигуни постійного струму
- ОПР – Особа, що приймає рішення
- ПВХ – Полівінілхлорид
- ПНТ – Поліетилен низького тиску
- ПІД – Пропорційно-інтегрально-диференціальний
- ШИМ – Широтно-імпульсна модуляція
- ASM – Assembly (укр. Асамблер)
- CAN – Controller Area Network (укр. Локальна мережа контролерів)
- COM – Common ground (укр. Спільне заземлення)
- GND – Ground (укр. Заземлення)
- IDE – Integrated development environment (укр. Інтегроване середовище розробки)
- I2C – Inter-Integrated Circuit (укр. Міжінтегральна схема)
- IOT – Internet of Things (укр. Інтернет речей)
- RFID – Radio Frequency Identification (укр. Радіочастотна ідентифікація)
- ROS – Robot Operating System (укр. Операційна система робота)
- RTC – Real-time clock (укр. Годинник реального часу)
- SCL – Serial Clock (укр. Серійні годинники)
- SDA – Serial Data (укр. Серійна інформація)
- V – Voltage (укр. Напруга)
- VCC – Voltage Common Collector (укр. Напруга спільного колектора)

1 СТАН ТА ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ АСК ТЕХНОЛОГІЇ ЗБОРУ ВРОЖАЮ

1.1 Технології збору врожаю автоматизованих та мобільних робото- технічних систем

Технології збирання врожаю є важливою складовою агрономічного виробничого циклу, що визначає не лише продуктивність, але й якість отриманої продукції. Традиційно цей процес передбачає значну участь людини, особливо при збиранні овочів, фруктів і ягід, які потребують делікатного поводження. Проте розвиток науково-технічного прогресу суміжних галузей виробничих процесів формує нові тенденції у сільському господарстві. Все частіше орієнтуються на автоматизацію і роботизації цієї операції, що відкриває нові можливості як з точки зору продуктивності, так і економічної ефективності технологій сільського господарства.

Процес збирання врожаю є завершальним і одним з найвідповідальніших етапів у циклі агровиробництва. Його ефективність у тому числі визначає кінцевий обсяг товарної продукції та її якість. Також технологія збирання врожаю впливає на ефективність наступних технологічних операцій, зокрема сортування, зберігання і транспортування. Сучасне сільське господарство, зокрема сфера інтенсивного землеробства, тепличного господарства та вертикальних ферм, збирання врожаю набуває нових функціональних характеристик, зумовлених потребою у делікатному поводженні з продукцією, мінімізації втрат і підвищенні рівня автоматизації.

Перехід від ручної праці до механізованих систем у сільському господарстві дозволяє значно підвищити продуктивність. Застосування зернозбиральних комбайнів, картоплекопачів, машин для збирання кукурудзи, буряків, бавовни стало проривом у масштабних сільськогосподарських господарствах. Однак механізація не розв'язала питання делікатного поводження з культурами, особливо овочами, ягодами, фруктами та зеленню.

Механізовані рішення, як правило, не здатні забезпечити точне розпізнавання стиглості плодів або працювати в складному середовищі теплиць.

Розвиток безлюдних технологій збирання врожаю тісно пов'язаний з потребами інтенсивного землеробства та агровиробництва в умовах обмежених площ. Прикладом процесних інновацій є зелені ферми. Такі комплексні агропромислові системи, орієнтовані на локальне вирощування сільськогосподарської продукції з використанням вертикального простору, контрольованого середовища та гідропонних або аеропонних технологій. У таких умовах традиційні методи збирання стають неефективними, що обумовлює необхідність створення адаптивних автономних рішень.

Сучасні технології збирання врожаю умовно поділяються на дві основні групи: механізовані системи та автоматизовані (роботизовані) комплекси. Механізоване збирання реалізується за допомогою машин, які потребують безпосередньої участі оператора — тракторів, комбайнів, збиральних машин тощо. Ці системи добре себе зарекомендували на відкритих полях при збиранні зернових, кукурудзи, соняшнику та інших культур, що не вимагають делікатного поводження. У той же час у випадках тепличних господарств і зелених ферм застосування подібної техніки стає обмеженим через специфіку середовища, щільність посадки і високу вимогливість до точності дій.

У зв'язку з цим на перший план виходять автоматизовані технології, зокрема роботизовані платформи, маніпулятори з візуальним позиціонуванням, мобільні агророботи з автономною навігацією та інтелектуальними системами розпізнавання стиглості плодів. Такі системи дозволяють виконувати операції збирання без участі оператора, що є ключовим при використанні безлюдних технологій у контрольованих умовах зелених ферм.

Одним із провідних напрямів розвитку є використання комп'ютерного зору у поєднанні з глибинним навчанням для точного визначення зрілості плодів, їх локалізації у просторі та визначення оптимального способу захоплення. Наприклад, у системах для збирання помідорів або полуниці

комп'ютерний зір дозволяє уникати пошкодження плодів, а також підвищувати точність маніпуляцій навіть у складних умовах освітлення або часткового перекриття листям.

Значну роль у реалізації таких технологій відіграють мультисенсорні системи, що включають камери, лідари, ультразвукові та інфрачервоні датчики, які забезпечують детальну інформацію про навколишнє середовище. Обробка цієї інформації в режимі реального часу дозволяє системі адаптувати поведінку до конкретної ситуації: наприклад, уникати зіткнень, змінювати траєкторію руху або обирати оптимальний кут захоплення.

В умовах зелених ферм, де простір часто є обмеженим, важливою стає не лише точність, але і компактність рішень. Роботи для вертикальних ферм або модульних теплиць зазвичай мають невеликі розміри, модульну конструкцію та програмне забезпечення. Часто вони працюють за принципом "рою", коли кілька простих роботів виконують складне завдання колективно, координуючи свої дії через бездротові мережі.



Рисунок 1.1 – Робототехніка в землеробстві теплиць

Варто зазначити, що ефективність безлюдних технологій напряду залежить від інтеграції всіх підсистем — сенсорики, навігації, візуального

аналізу, маніпуляції та логістики — в єдиний автоматизований комплекс. Безперервна передача даних між модулями системи дозволяє досягти високого рівня автономності та адаптивності, що є ключовим фактором для роботи в умовах різноманітних зелених ферм. Їх ефективність, як виробництв вирощування сільськогосподарської продукції, доповнюється додатковою важливою екологічною рисою – захист планети та її населення від виснаження природних ресурсів, включаючи: землю, повітря і воду.

Розвиток технологій збирання врожаю також пов'язаний із тенденцією до "агроіндустріалізації", коли інтелектуальні системи не просто виконують окремі операції, а інтегруються в загальну систему управління агровиробництвом — від посіву до пакування продукції. У цьому контексті технології збирання стають частиною комплексного підходу, що враховує агрономічні дані, прогнозування врожайності, моніторинг рослин та логістику.



Рисунок 1.2 – Узагальнена структуру АСК ЗБОРУ ВРОЖАЮ

На рисунку 1.2 представлено узагальнену структуру АСК для збирання врожаю МРТС. Її першим структурним елементом є живлення первинного та вторинного живлення. Він забезпечує живлення мобільної платформи, що здійснює управління виконавчими механізмами і сенсорами, які виконують

збір, обробку та передавання даних до дротових та без дротових мереж. Координація і обробка даних групи датчиків, стану засобів захоплення і виконавчих пристроїв, системи відео інформування здійснюється починаючи від сенсорів до оператора або інженера для моніторингу й налаштування системи для керування рухом і діями з захоплення плоду, відривом та пакуванням. Друга група сенсорів кольорового аналізу, здійснює обробку даних та визначає стиглість плоду. Інформаційні потоки про дані, що збираються, аналізуються і передаються між модулями у реальному часі для забезпечення автономного управління процесами збору врожаю сформовані у єдиному інформаційному просторі.

Одним з ключових підходів у цій сфері є розробка мобільних автономних роботів, здатних самостійно переміщуватись у межах теплиці або вертикального модуля, виявляти плоди, оцінювати ступінь їх стиглості, визначати просторове положення та виконувати захоплення за допомогою маніпуляторів. Такі роботи можуть працювати в режимі реального часу, підтримуючи зв'язок із центральною системою управління, або функціонувати незалежно, використовуючи onboard-обробку даних.

Сучасні приклади реалізації цих рішень включають:

- роботизовані платформи FARMWISE, які застосовуються для збирання салатів та буряків із використанням візуальних систем;
- платформи Octinion Rubion, розроблені спеціально для збору полуниці в умовах тепличного виробництва, де робот здатний відрізняти стиглі плоди від нестиглих за допомогою гіперспектрального аналізу;
- автономний робот Agrobot E-Series, який поєднує в собі машинне навчання, 3D-моделювання простору та адаптивну кінематику для м'якого збирання ягід без пошкодження.

Ці розробки демонструють потенціал безлюдних технологій, які дозволяють мінімізувати втрати продукції, зменшити потребу в сезонній робочій силі, підвищити точність і швидкість збирання. У той же час для

впровадження таких систем потрібна відповідна інфраструктура, включаючи цифрову модель теплиці, сенсорне забезпечення, бездротові мережі передачі даних (наприклад, LoRaWAN або Wi-Fi 6), енергоефективне освітлення, механізовані доріжки для пересування роботів.

Наукові дослідження вказують на доцільність інтеграції елементів штучного інтелекту, зокрема глибокого навчання (Deep Learning), візуального розпізнавання (Computer Vision), адаптивних нейронних мереж і reinforcement learning для вдосконалення процесів локалізації, розпізнавання і прийняття рішень. Наприклад, використання згорткових нейронних мереж (CNN) для класифікації стиглості плодів або сегментації зображень дає змогу досягати точності понад 90% при збиранні м'яких фруктів.

Окремим напрямом є використання роботів-маніпуляторів із зворотним зв'язком за силовими датчиками, що дозволяє оцінювати опір при захопленні плоду та автоматично коригувати силу захоплення. Це особливо важливо при роботі з крихкими культурами, де навіть незначне перевищення зусилля призводить до псування продукції.

Для забезпечення автономності таких систем важливо також застосовувати енергоефективні приводи, акумулятори з високою щільністю енергії (наприклад, літій-залізо-фосфатні батареї), системи бездротової зарядки, а також оптимізовані маршрути збирання за допомогою алгоритмів планування шляху (A^* , RRT, Dijkstra тощо).

У майбутньому можливим напрямом розвитку є створення кооперативних систем безлюдного збирання, які включають рої невеликих роботів, що координують свої дії через децентралізовані мережі. Такі системи дозволять досягти гнучкості, масштабованості і високої продуктивності в умовах складного агросередовища.

Таким чином, технології збирання врожаю стрімко еволюціонують від ручної праці до високотехнологічних автономних систем. Особливе значення

це має для зелених ферм, де точність, ефективність і автономність визначають продуктивність і рентабельність технологічного процесу.

1.2 Технічні засоби автоматизації процесу збору врожаю

Ефективна реалізація безлюдних технологій збирання врожаю в умовах зелених ферм потребує застосування широкого спектра технічних засобів автоматизації. Ці засоби забезпечують здатність системи до сприйняття середовища, прийняття рішень, точного позиціонування, делікатного захоплення та обробки продукції. Особливістю що притаманна для аграрного середовища є високий рівень мінливості умов: роботи устаткування. Зміни у об'єкті, що спостерігаються у структурі рослин, освітленні, розмірах і формі плодів, а також у середовищі функціонуванні обмеженість простору для маневрування. Останнє потребує застосування високоточних, надійних і гнучких технічних рішень та створення устаткування, яке здатне адаптуватися до динамічних умов.

Сучасна автоматизована система збирання врожаю є комплексом взаємопов'язаних модулів, кожен з яких узгоджено виконує специфічну функцію. Основу таких систем зазвичай складають роботизовані платформи, укомплектовані засобами мобільності, системами комп'ютерного зору, маніпуляторами, виконавчими механізмами, контролерами, джерелами енергії, а також модулями зв'язку для координації роботи в межах цифрової інфраструктури.

Успішна реалізація залежить від надійної, точної та адаптивної технічної бази, яка забезпечує автономну роботу в складному аграрному середовищі. Слід зазначити, як показує аналіз літературних джерел [1], умови функціонування зелених ферм — теплиць, вертикальних або контейнерних ферм — висувають особливі вимоги до апаратних компонентів системи: компактність, маневреність, енергоефективність, висока точність і делікатність при взаємодії з продукцією. Технічні засоби автоматизації в таких системах

умовно поділяються на п'ять основних груп: платформи пересування, маніпулятори, сенсорні системи, обчислювальні модулі та системи зв'язку.



Рисунок 1.3 – Схема технічних засобів автоматизації

Мобільність є однією з найважливіших характеристик систем безлюдного збирання. Для забезпечення руху використовуються як колісні, так і гусеничні шасі. У випадку тепличних господарств переважають колісні платформи з електроприводом, які мають можливість руху в обмеженому просторі між рядами. Перевага віддається незалежному приводові на кожне колесо з використанням серводвигунів, що дозволяє забезпечити точне позиціонування на рівні кількох міліметрів. Для більшої гнучкості все частіше використовуються колеса, що забезпечують рух у всіх напрямках без необхідності розвороту.

Також мобільна платформа здійснює переміщення між ярусами вертикальної ферми або високих пальметних культур. Найпоширенішими типами пересування для них є колісні та гусеничні платформи з вертикальним переміщенням робочого інструменту [5].



Рисунок 1.4 – Ізраїльська розробка фірми Tevel «Літаючі Автономні Роботи»

Колісні системи (наприклад, 4WD із незалежним приводом на кожне колесо) застосовуються при рівних поверхнях теплиць або гідропонних стелажах, а гусеничні — в умовах нестабільного ґрунту або нахилених площин [3].

В умовах багаторівневих тепличних модулів перспективними є рейкові платформи або модулі з можливістю вертикального підйому [1]. У таких системах важливою є інтеграція сенсорів наближення, лазерних далекомірів і датчиків положення для безпечної та точної навігації. Наприклад, система Rover X5 AgriBot використовує вбудовану навігацію SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) та карту об'єкта, що оновлюється в реальному часі [6].

Платформи зазвичай обладнуються електроприводами постійного струму або з безщітковими гібридними кроковими двигунами, що забезпечують точний контроль швидкості та напрямку. Управління ними здійснюється мікроконтролерами або вбудованими системами на кшталт NVIDIA Jetson, Raspberry Pi, STM32 або BeagleBone Black, які також виконують функції локального керування навігацією [6].

Інформаційне забезпечення руху, що здійснюється за допомогою навігаційних систем. У відкритому середовищі для цього використовуються GPS або RTK-GNSS модулі, однак в умовах зелених ферм ці рішення втрачають ефективність через обмеження сигналу. Тому перевагу надають локальним навігаційним технологіям, які включають систему SLAM (Simultaneous Localization and Mapping), а також інерційні вимірювальні системи (IMU), ультразвукові маяки, QR-мітки або оптичні трекери [7]. Такі технології дозволяють створювати тривимірну карту простору і здійснювати точну локалізацію робота в реальному часі.

Одним з ключових компонентів автоматизованої системи є сенсорне забезпечення. Комп'ютерний зір, побудований на основі RGB- або RGB-D камер, дозволяє аналізувати візуальну інформацію, розпізнавати плоди, оцінювати їхній стан та розміри. У поєднанні з алгоритмами штучного інтелекту (нейронними мережами, алгоритмами класифікації та сегментації) забезпечується висока точність виявлення стиглих плодів навіть у складних умовах. Допоміжну роль виконують лідари, які формують детальну просторову модель оточення. Вони дозволяють визначати відстань до об'єктів, оцінювати рельєф, а також уникати зіткнень при переміщенні робота. Ультразвукові сенсори та інфрачервоні датчики використовуються для контролю відстані на невеликій відстані, зокрема під час захоплення об'єктів.

Важливу роль у процесі автоматизованого збирання відіграють маніпулятори — багато ланкові механічні системи, призначені для виконання точних рухів у тривимірному просторі [8]. У зелених фермах найчастіше використовуються легкі маніпулятори з шістьма ступенями свободи, які мають електропривід і оснащуються виконавчими механізмами для захоплення [7]. Універсальність таких систем дозволяє адаптувати їх до різних типів плодів — від дрібних ягід до овочів середнього розміру. У разі роботи з крихкою продукцією застосовуються гнучкі захоплювачі на основі силіконових матеріалів, які здатні повторювати форму об'єкта і не чинити надлишкового

тиску. Існують також пневматичні захоплювачі із вбудованими датчиками сили та моменту, які автоматично регулюють силу стиснення [7].

Маніпулятор — це функціональний елемент, який безпосередньо здійснює збирання плодів. Він повинен бути гнучким, точним і делікатним. Сучасні конструкції базуються на електромеханічних або пневматичних приводах, часто із шістьма ступенями свободи. Для більшої адаптивності використовуються гнучкі маніпулятори (soft robotics), виготовлені з еластомерних матеріалів і керовані пневматичним тиском, що дозволяє захоплювати плоди без пошкодження [6].

До складу маніпулятора входять датчики тиску, тактильні сенсори та силоміри, які дозволяють оцінити зусилля захоплення. Приводи оснащуються зворотним зв'язком за положенням, що дозволяє точно координувати рухи в межах обмеженого простору. У більш складних системах застосовуються антропоморфні конструкції, які здатні імітувати рухи руки людини та забезпечити гнучкість при роботі зі складно розташованими об'єктами [3].

Одним із прикладів є маніпулятор FFRobotics, що має 12 кінцівок для одночасного збирання фруктів на дереві з оцінкою їх орієнтації [2]. Інші конструкції, як-от Ocado Soft Gripper [1], працюють із використанням датчиків м'якого тиску та інфрачервоного контролю форми плодів.

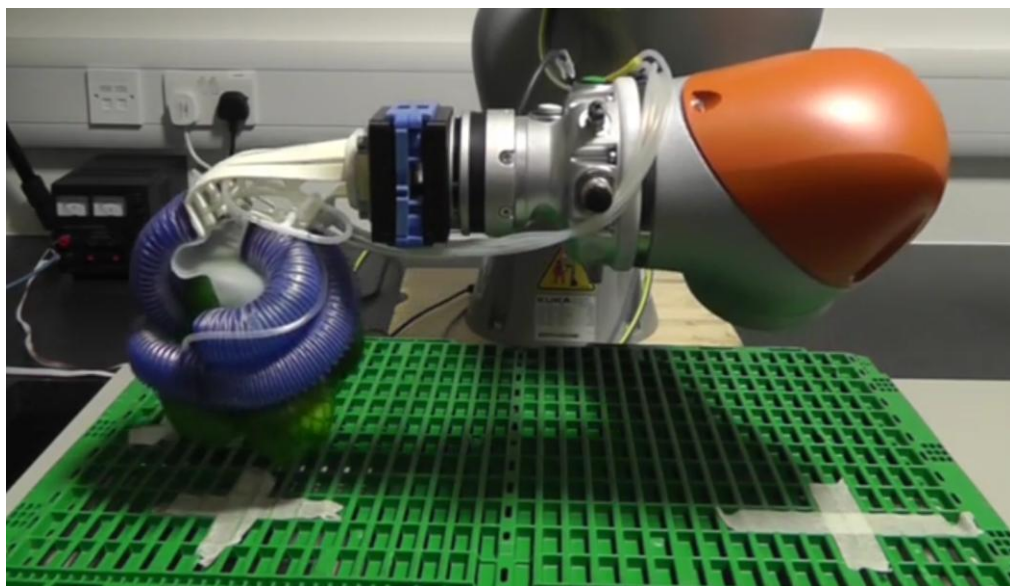


Рисунок 1.5 – Європейська розробка фірми Ocado

Для автономного функціонування безлюдних систем надзвичайно важливо забезпечити повноцінне сенсорне сприйняття. До основних типів сенсорів належать:

- Відеокамери: високоякісні RGB або мультиспектральні камери використовуються для візуального аналізу стиглості плодів, визначення їх положення, виявлення дефектів. Вбудовані системи можуть здійснювати обробку відеопотоку в режимі реального часу [4].
- Глибинні камери (ToF, LiDAR, RealSense) [7]: дозволяють оцінити 3D-структуру сцени, що критично важливо при навігації в тісному середовищі та під час збирання плодів.
- Гіперспектральні сенсори: аналізують спектральний склад світла, відбитого від плоду, що дозволяє з високою точністю визначати стиглість, вологість та наявність хвороб [1].
- Інфрачервоні сенсори: застосовуються для термографії та виявлення фізіологічного стану рослин[4].
- Ультразвукові далекоміри та інерційні модулі (IMU): забезпечують просторову орієнтацію, контроль швидкості та відстані до перешкод [2].
- Міцність, матеріал не піддається атакам гризунів[2].

Для аграрного середовища важливо, щоб усі сенсори були герметичними, стійкими до пилу, вологи та температурних перепадів (захист IP65 або вищий) [2].

Системи безлюдного збирання вимагають високої продуктивності для обробки даних із сенсорів, реалізації алгоритмів штучного інтелекту та синхронізації роботи модулів. Сучасні безпілотні платформи використовують одноплатні комп'ютери із підтримкою паралельної обробки, зокрема NVIDIA Jetson Xavier, TX2, Orin, а також модулі на базі ARM Cortex-A53 чи A72[1].

Програмне забезпечення часто базується на середовищах ROS/ROS2 (Robot Operating System), які дозволяють модульно будувати систему управління, об'єднуючи навігацію, збирання, виявлення, планування і

зворотній зв'язок. Для комп'ютерного зору застосовуються бібліотеки OpenCV, TensorFlow, PyTorch, а для навігації — GMapping, Hector SLAM, Cartographer [7].

Системи комунікації. В умовах зелених ферм автономні роботи повинні мати змогу комунікувати між собою та із серверною частиною системи [6]. Для цього використовуються такі технології:

Wi-Fi 6: високошвидкісний бездротовий зв'язок з підтримкою великих обсягів даних;

LoRaWAN: енергоефективна довготривала комунікація на великі відстані для передачі сенсорних даних;

Zigbee та Bluetooth Low Energy: локальні протоколи для обміну даними між модулями в межах одного агрегату;

5G (на стадії впровадження): дає можливість віддалено керувати та моніторити декілька систем одночасно.

Крім того, велике значення має система зберігання та обробки даних, зокрема застосування хмарних сервісів або локальних edge-серверів, які дозволяють зменшити затримки при прийнятті рішень [7].

Керування всією системою здійснюється через програмовані логічні контролери (ПЛК) або мікроконтролери, які забезпечують інтеграцію усіх підсистем в єдиний інформаційний простір. Для обробки великого обсягу даних використовуються одноплатні комп'ютери, такі як NVIDIA Jetson або Raspberry Pi 5, які можуть виконувати обчислення для систем візуалізації та інтелектуального аналізу. Комунікація між модулями забезпечується через шину CAN, Ethernet або бездротові протоколи, включаючи Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth та LoRa [7].

Система живлення є ще одним критичним елементом. У більшості випадків використовуються літієві акумулятори з розумною системою управління енергоспоживанням. Заряджання може здійснюватись вручну або автоматично через док-станції, що особливо важливо у разі тривалої роботи.

Оптимізація енергоспоживання досягається за рахунок використання алгоритмів розподілу навантаження, адаптивного керування приводами, а також енергозберігаючих режимів для неактивних модулів.

Інтерфейс взаємодії з оператором є додатковою, але важливою складовою. У переважній більшості випадків застосовуються мобільні додатки або веб-інтерфейси, через які можна контролювати статус системи, отримувати аналітичні дані, здійснювати дистанційне керування, змінювати параметри роботи або запускати оновлення програмного забезпечення. У перспективі можливе розширення функцій через голосові інтерфейси, доповнену реальність або підключення до хмарних платформ агромоніторингу.

Таким чином, сучасні технічні засоби автоматизації забезпечують повну функціональність безлюдних систем збирання врожаю, здатних працювати в умовах зелених ферм охоплюють широкий спектр задач — від сприйняття та обробки інформації до виконання складних моторних дій — і створюють основу для побудови високопродуктивних автономних систем збору врожаю.

1.3 Програмні рішення та алгоритми засобів автоматизації

Реалізація ефективної безлюдної системи збирання врожаю в умовах зеленої ферми неможлива без відповідного програмного забезпечення (ПЗ), яке забезпечує взаємодію між апаратними модулями, прийняття рішень у реальному часі, адаптацію до змін середовища, а також дотримання точності, швидкості й надійності процесів. Сучасні програмні засоби автоматизації є основою інтелектуальної поведінки роботизованої платформи, дозволяючи здійснювати функціонування у повністю автономну або напівавтономну режимі [8].

Програмна архітектура розроблюваної системи повинна мати модульну структуру, що дозволяє розділити функціональність за логічними рівнями: рівень сприйняття, рівень прийняття рішень (когнітивний рівень) і рівень виконання. Такий підхід відповідає сучасній парадигмі робото-технічних

систем і дозволяє розробляти, налагоджувати та вдосконалювати окремі компоненти незалежно від інших [8].

На рівні сприйняття головну роль відіграє модуль машинного зору. Для ідентифікації об'єктів (плодів) у середовищі застосовуються алгоритми комп'ютерного бачення, реалізовані на основі глибоких згорткових нейронних мереж (Convolutional Neural Networks, CNN) [8]. Зокрема, доцільним є використання моделі YOLOv5 або її новіших модифікацій (YOLOv8, Detectron2), які дозволяють у реальному часі детектувати стиглі плоди на фоні складного середовища [1]. Мережа навчена на наборі даних, що включає зображення рослин у різних фазах дозрівання, з різними ступенями освітлення, з різним фоном і формою плодів.

Після знаходження об'єктів, координати їхнього положення в полі зору перетворюються у просторову систему координат через механізм калібрування камери і внутрішню трансформацію (extrinsic calibration) [8]. Це дозволяє точно визначити положення цілі для подальшої роботи маніпулятора. Додатково, для оцінки стиглості можна використовувати класифікатор на основі ResNet або MobileNet, що дозволяє враховувати не лише форму і колір плоду, але й текстурні особливості [8].

Навігаційний модуль є одним із найважливіших у складі системи. Оскільки зелені ферми зазвичай позбавлені сигналу GPS, автономна навігація реалізується за допомогою алгоритмів SLAM (Simultaneous Localization and Mapping). Рекомендовано використовувати алгоритм ORB-SLAM3 або RTAB-Map, які поєднують візуальні дані з інформацією з IMU для побудови карти навколишнього середовища в реальному часі та одночасної локалізації в ній. Алгоритм дозволяє будувати карту простору, виявляти перешкоди, планувати маршрут і підтримувати задану траєкторію руху з високою точністю[2].

На рівні когнітивного керування реалізується прийняття рішень щодо порядку дій: визначення найбільш оптимального маршруту до нового плоду, вибір цілі, уникнення перешкод, корекція маршруту у випадку

непередбачуваних ситуацій [1]. Для цього застосовується планувальник поведінки, реалізований на основі дерева прийняття рішень (Behavior Tree) або скриптової FSM-моделі (Finite State Machine), яка визначає послідовність операцій залежно від стану системи та зовнішніх даних[2].

Модуль керування маніпулятором реалізується за допомогою інверсної кінематики та модулів траєкторного планування. Інверсна кінематика дозволяє обчислити кути приводів, необхідні для досягнення заданої точки захоплення у просторі [7]. Для планування плавних рухів застосовується алгоритм MoveIt!, що працює в середовищі ROS (Robot Operating System) і дозволяє синхронізувати рухи маніпулятора з виявленими координатами плоду[8]. Використання траєкторного згладжування (trajectory smoothing) забезпечує м'який, безпечний контакт захоплювача з плодом[8].

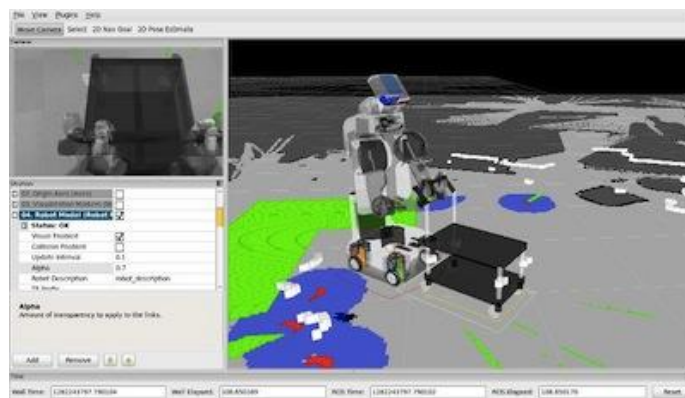


Рисунок 1.6 – Симуляція штовхання візка в ROS (RVIZ)

Захоплювач управляється автономним контролером, який включає сенсори тиску або сили. Для запобігання пошкодженню продукції використовується алгоритм зворотного зв'язку, який регулює силу захоплення залежно від типу плоду. У разі виявлення перевищення допустимого зусилля спрацьовує захисний механізм, який скасовує спробу збирання або коригує дію [8].

Для забезпечення автономності системи також необхідний модуль моніторингу стану та діагностики. Він виконує контроль заряду акумулятора, стану сенсорів, мережевих підключень, температурних режимів та інших

параметрів. У разі виявлення відхилень система може автоматично змінити режим роботи, перейти в режим енергозбереження або повідомити оператора через інтерфейс [8].

Вся програмна логіка функціонує в середовищі ROS 2, яке забезпечує підтримку багатомодульної архітектури, взаємодію між вузлами, масштабованість, синхронізацію часу, обробку сенсорних даних та розгортання алгоритмів штучного інтелекту. Також можливе використання Docker-контейнерів для ізоляції програмних середовищ, що підвищує стабільність та переносимість рішень.

З метою підтримки інтерфейсу для користувача реалізується вебінтерфейс або мобільний додаток, який дозволяє дистанційно керувати системою, переглядати карту середовища, запускати сценарії збирання, переглядати діагностику, отримувати звіти про виконані дії та надсилати оновлення конфігурації [7].

1.4 Дослідження патентів на корисну модель

Для покращення функцій пристрою, кращого розуміння тематики, та зведення зайвих дій, як в розробці так й витрат до мінімуму, виділимо трохи часу на пошук існуючих конкурентних моделей нашої розробки.

Вивчення існуючих аналогів та патентованих рішень у сфері безлюдних технологій для збирання врожаю дозволяє визначити рівень сучасного науково-технічного розвитку, виокремити провідні напрями досліджень і розробок, а також обґрунтувати доцільність власного проєктного рішення. Аналіз практичних реалізацій таких систем демонструє значне зростання інтересу до автоматизованого збирання овочів, фруктів і ягід, особливо в умовах контрольованого агросередовища — теплиць, вертикальних ферм і агрокомплексів закритого ґрунту.

Серед найбільш відомих інженерних рішень виділяються автономні мобільні системи з роботизованими маніпуляторами, інтегрованими системами

машинного зору та адаптивним управлінням. Такі системи активно розробляються компаніями та дослідницькими центрами в Японії, Нідерландах, США, Ізраїлі, Південній Кореї та Китаї. Особливістю більшості з них є вузька спеціалізація: як правило, кожна система налаштована на збирання одного виду культури в конкретних умовах.

На даний час, на офіційному сайті патенту в Україні «ukrpatent.org» (Спеціальна інформаційна система Укрпатенту) в наявності є аналоги моєї розробці. Не дивлячись на це, задля чесного оцінювання, зробимо глобальний пошук в інтернеті для знайдення більшої кількості аналогів.

Мною були знайдені наступні приклади реалізації «крапельного поливу»:

На сайті патенту в Україні «ukrpatent.org» знаходиться патент під номером 118655, схожий по задумці на ідею дипломної. Має назву «ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЗБОРУ ВРОЖАЮ», з наступним змістом реферату:

«Сільськогосподарська машина (10) з реалізуючим механізмом (12) для обробки культури (14), висадженої рядовим способом, причому культура (14), висаджена рядовим способом включає в себе робочі рядки (16), розташовані, переважно, паралельно один одному, і/або інтерференційні рядки (18), розташовані під кутом до робочих рядків (16), при цьому реалізуючий механізм (12) містить щонайменше одну контрольовано рухому робочу секцію (22) зі щонайменше одним активованим робочим пристроєм (24) для обробки культури (14), висадженої рядовим способом, блок (28) управління для керування принаймні однією робочою секцією (22) і/або робочим пристроєм (24), що має відношення щонайменше до одного робочого рядка (16), і щонайменше один оптичний сенсорний блок (30), з'єднаний з блоком управління (28) для формування зображення щонайменше однієї частини культури (14), висадженої рядовим способом, в якому на базі зображення культури (14), висадженої рядовим способом, забезпечується генерування сенсорного сигналу (S) для керування робочою секцією (22) і/або робочим пристроєм. У відповідності з винаходом, блок (28) управління розроблений і

обладнаний з можливістю здійснення оцінки придатності (вагомості) сенсорного сигналу (S) для керування, принаймні, однією робочою секцією (22) і/або одним робочим пристроєм на базі щонайменше одного параметра оцінки.». До даного патенту належить рисунок 1.7, на якому зображено саму корисну модель.

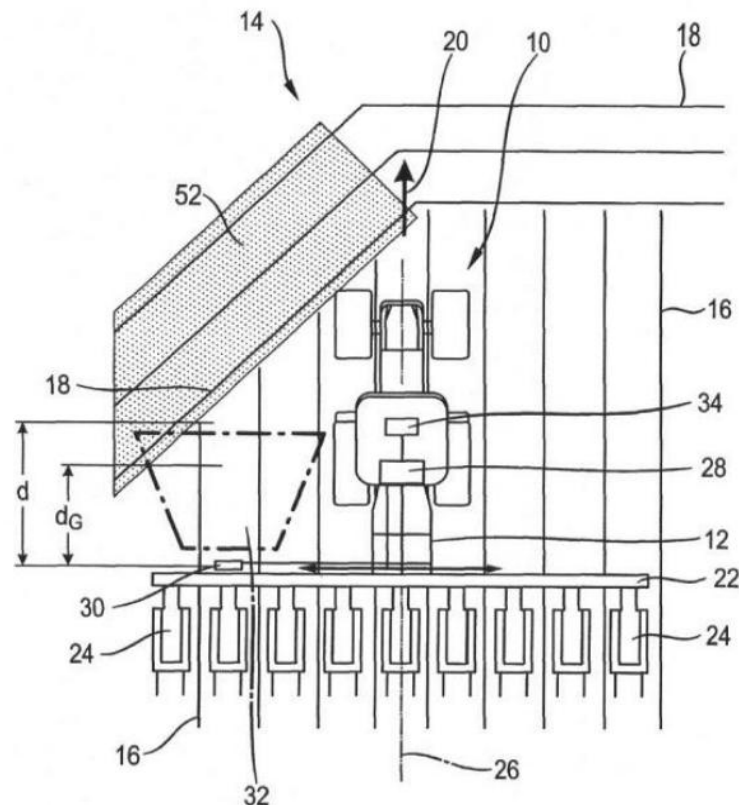


Рисунок 1.7 – Корисна модель з «ukrpatent.org». Сільськогосподарська машина

Недоліком даної моделі, є її великий розмір, що приводить до малого спектру використання. Також, є необхідність врахування розміру транспорту для пересування по ділянкам сільського господарства.

До плюсів, можу віднести супутникову навігаційну систему, що дає перевагу в місці з відсутністю wi-fi покриття.

Для більш ліпшого розуміння знайдених робіт, я буду надавати їх з перекладом з мови оригіналу на українську. Але хочу звернути увагу, на те, що це повинно вважатись цитуванням праці інших винахідників.

На сайті патенту «patents.google.com» знаходиться патент під номером US20160202679A1, схожий по задумці на ідею курсової. Має назву «Automated irrigation control system» або «Автоматизована система управління поливом», з наступним змістом реферату:

«Автоматизована система управління зрошенням, що містить датчик врожаю, фізично прикріплений до культури, та світлочутливий датчик, що має фотодетектор для контролю інтенсивності освітлення культури, зрошувальний трубопровід, що простягається вздовж прольоту зони зрошення та пристосований для транспортування рідини, з одним або більше керованими клапанами та датчиками, датчики росту, розміщені у безпосередній близькості до датчиків врожаю, комп'ютерну систему управління, контролер зрошення та канал зв'язку між комп'ютерною системою управління, одним або більше датчиками врожаю, трьома або більше датчиками росту, та контролером зрошення. Модель системи можна побачити на рисунку 1.8.

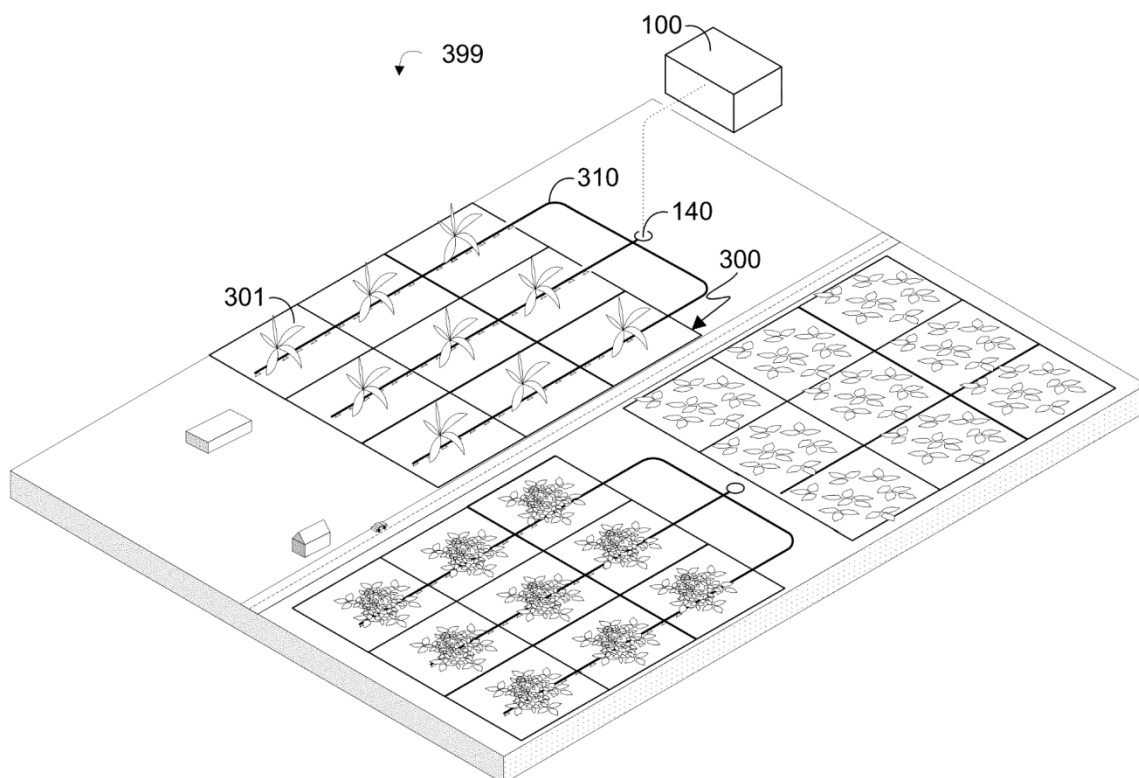


Рисунок 1.8 – Корисна модель з «patents.google.com»

Даний винахід відноситься в цілому до способу і систем для автоматичного управління переривчастим потоком води, і більш конкретно до автоматичного управління потоком стосовно до зрошувальних систем.

Одним із найбільш відомих комерційних зразків є робот Octinion Rubion, розроблений у Бельгії для збирання полуниці в теплицях. Система складається з мобільної платформи, візуального модуля з глибинною камерою та маніпулятора із силіконовим захоплювачем. Вона здатна розпізнавати стиглі ягоди, здійснювати точне позиціонування і дбайливо зривати плоди. Робот працює автономно і може зберігати зібрані ягоди в контейнерах, які переміщуються всередині шасі. Octinion Rubion зареєстрований як патентований винахід (WO2018106204A1), що свідчить про інноваційність рішення.

Окрему увагу привертає досвід Ізраїлю, зокрема компанії MetoMotion, яка презентувала платформу для тепличного збирання томатів. Робот може переміщуватись вузькими міжряддями, сканувати середовище та визначати положення плодів, стиглість яких оцінюється через колірний спектр. Система підтримує зв'язок з центральним сервером, на якому зберігається база даних із параметрами сортів, типів плодів, їх формою та допустимими відхиленнями.

У патентній базі Google Patents, Espacenet та WIPO можна знайти сотні заявок, пов'язаних із автономними системами збирання. Аналіз патентних документів свідчить про концентрацію інновацій у таких напрямках, як гнучкі та адаптивні захоплювачі (наприклад, JP2021038452A), інтелектуальні системи оцінки стиглості (CN112913978A), модульні роботизовані платформи для багатофункціонального використання в теплицях (KR102312456B1), а також хмарні сервіси моніторингу та дистанційного керування (US20200101548A1).

Попри наявність значної кількості патентів і прикладів практичного застосування, більшість із них мають обмеження. Зокрема, вузька спеціалізація на одному виді культури, складність адаптації до нових умов, висока вартість впровадження та обмежений ресурс роботи в автономному режимі. Крім того,

не всі комерційні рішення забезпечують інтеграцію в загальну цифрову інфраструктуру ферми, що ускладнює масштабування та об'єднання в єдину систему керування.

Таким чином, аналіз сучасних аналогів і патентованих рішень свідчить про наявність численних підходів до автоматизованого збирання врожаю, кожен із яких має свої переваги і недоліки. Це створює сприятливе підґрунтя для проєктування власної інноваційної системи, яка б об'єднувала передові технології, гнучкість, адаптивність і можливість роботи в умовах зелених ферм.

Крім того, аналіз конструкцій маніпуляторів та захоплювачів показує, що в конструкціях антропоморфних та промислових роботів поширені пристрої, які реалізують виконання функцій захоплення за допомогою системи жорстких упорів. У зв'язку з цим для надійного захоплення і утримання необхідно забезпечувати визначену орієнтацію об'єкта. Тому вони потребують точної орієнтації захоплювача відносно об'єкта [21]. Її відсутність може привести до виникнення значних навантажень на об'єкт. Тому застосування даних пристроїв для захвату зрілих плодів є не раціональним. Для забезпечення широкого переліку застосувань маніпуляторів із такими захоплювачами виникає потреба швидкої перебудови. Одним із раціональних рішень є застосування змінних захоплювачів із вузлом стикування з маніпулятором [22]. Дані вузли мають замок та стикувальну колодку (рис. 1.9. А), а наявність електричних роз'єднувачів відкриває застосування різноманітних сенсорних систем для їх очутливлення.

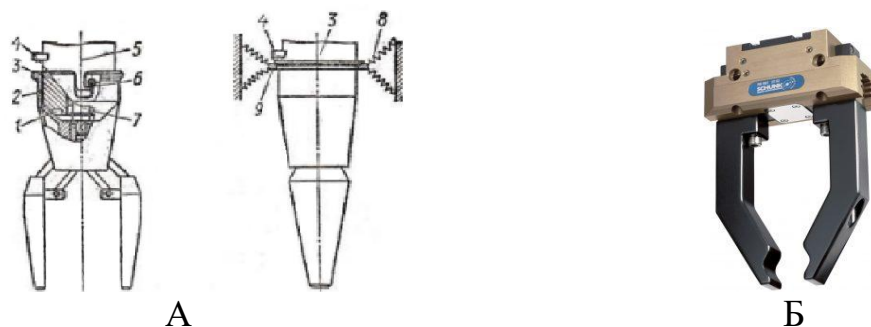
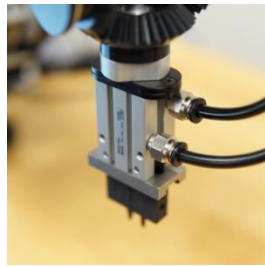


Рисунок 1.9 – Застосування конструкцій змінних захватів для створення маніпулятора широкого застосування [22]: А – захоплювач і жорсткими

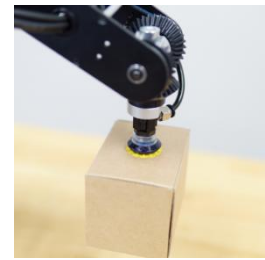
упорами із пристроями швидкого зняття та електричними роз'єднувачами; Б – із пристроєм швидкого зняття [23].

У практиці автоматизованого збирання найбільш поширеними є захоплювачі із механічним приводом упорів та твердою поверхнею дотику [23]. Ці захвати використовують щелепні або паралельні механізми приводу зближення упорів, які у більшості приводяться електроприводом. Механічні захвати переважно мають жорстку структуру з металевими або пластиковими щелепами, які фіксують шляхом стиснення. Їх основні переваги: швидкодія, простота конструкції, висока вантажопідйомність. Вони придатні для роботи з більшістю твердих овочів і фруктів (наприклад, яблука, огірки). Однак підвищений ризик пошкодження м'яких плодів (томатів, малини), що обмежує сферу їх застосування через високу ймовірність ушкодження плоду. Крім того, жорсткі захвати зазвичай мають низьку адаптивність до змінної геометрії об'єкта. Вакуумні чи пневматичні захвати – засновані на створенні зони низького тиску для підйому плоду. Вони працюють швидко і не потребують фізичного стиснення продукту, що забезпечує високу делікатність при роботі з округлими, гладкими плодами, такими як яблука або перці [23]. До недоліків відносяться: неможливість ефективної роботи з нерівною або вологою поверхнею; потреба в стабільному джерелі стисненого повітря; висока енергетична залежність.

Такі захвати складно використовувати для плодів зі змінною формою або в умовах забруднення (волога, пил, рослини з волосками) [23]. У теплицях, де плоди часто вкриті конденсатом або мають опушення (наприклад, персики, ківі), ефективність вакуумних захоплювачів знижується.



А

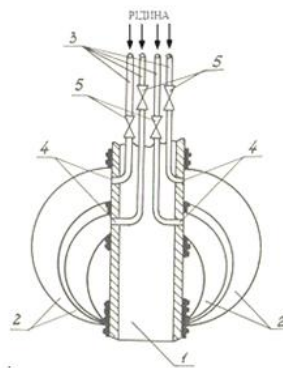


Б

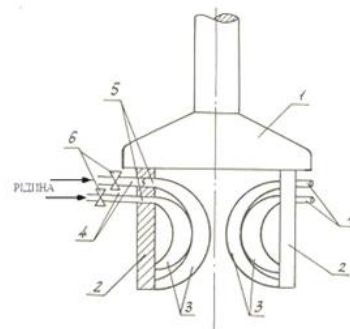
Рисунок 1.10 – Захоплювачі із використанням тиску: А – пневматичний захоплювач; Б – вакуумний захоплювач [23].

Таким чином, для застосування м'яких і вакуумних захватів, що не створюють затискних зусиль вимагає вакуумних систем, які у свою чергу є додатковим устаткуванням та яке тільки збільшує сумарну вартість.

М'які захвати – це напрямок, який використовує гнучкі матеріали – полімери, силікони, тканини з пневматичним або гідравлічним приводом. Вони імітують принципи біологічного захоплення (наприклад, упори у формі пальців людини чи гумових щупалець восьминога), забезпечуючи високу адаптивність та мінімальний тиск на плід [24].



А



Б

Рисунок 1.11 – Застосування м'яких оболонкових конструкцій для створення захоплювачів маніпуляторів [24]: А – для роботи з тілами із внутрішніми формами у вигляді отворів [24]; Б – для роботи з тілами довільної зовнішньої форми для виконання вантажно-розвантажувальних робіт [25].

Для тепличного середовища це дозволяє не тільки уникнути пошкоджень, а й працювати з непередбачуваним розташуванням плодів у просторі. Такі системи успішно застосовуються при зборі полуниці, винограду, малини та

інших ніжних культур. Також захвати менше забруднюються, що важливо в умовах високої вологості й біологічної забрудненості. Основні виклики: складність керування, більша вартість у порівнянні з класичними захватами, а також необхідність точного налаштування сили стиснення в залежності від типу плоду [25]. Застосування пневматичного приводу у комбінації із м'якими оболонками розширює можливості захоплювачів, для роботи як з тілами із внутрішніми отворами [24] так і з тілами, які мають непередбачено різноманітні зовнішні форми для виконання розвантажувальних або навантажувальних робіт [25].

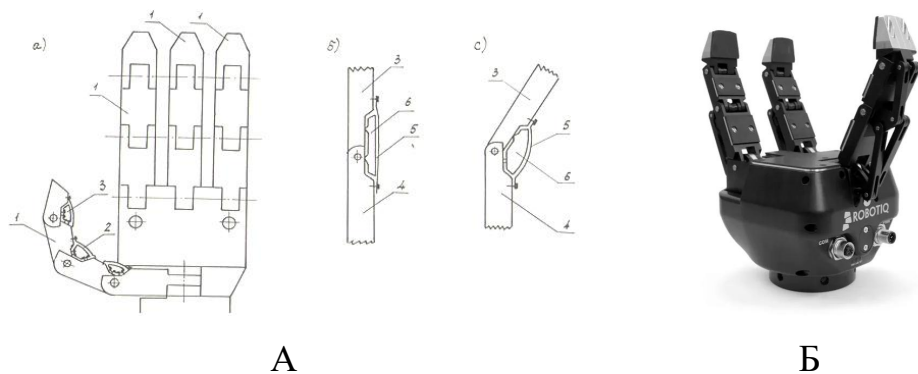


Рисунок 1.12 – Застосування м'яких конструкцій для створення захоплювачів маніпуляторів: А – оболонкових форм антропоморфного робота [26]; Б – м'яких поверхонь дотику [23].

Якість і продуктивність процесу збирання плодоовочевих залежить не лише від точності позиціонування, а й від здатності захвату пристосовуватись до широкого спектра форм, поверхонь і механічних властивостей плодів. Умови тепличного середовища формують специфічні вимоги до конструкції захвату: обмежена мобільність, щільна зелена маса, підвищена вологість і обмежений доступ до плоду, що часто росте всередині куща чи під листям. Традиційні промислові підходи до захоплення виявляються малоефективними через ризик пошкодження продукції або рослини.

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика типів захватів

Тип захвату	Адаптивність	Делікатність	Придатність до теплиць	Вартість
Механічний	Низька	Низька	Обмежена	Низька
Вакуумний	Середня	Висока	Середня	Середня
М'який	Висока	Висока	Висока	Висока

Окремо застосовують гібридні конструкції захоплювачів та маніпуляторів, що поєднують переваги м'яких та механічних захватів. Це дозволяє оптимізувати співвідношення між адаптивністю та керованістю. Наприклад, конструкції з жорстким каркасом і м'якими внутрішніми вставками з гелю або пінополіуретану дають змогу зменшити силу контакту при утриманні плоду. Деякі з них додатково оснащуються температуро чутливими датчиками, які дозволяють оцінити стиглість плоду за допомогою температурного профілю або механічної відповіді тканини.

Реалізація безлюдного збору врожаю також потребує інтеграції захватного механізму з візирними та сенсорними модулями. Камери глибини, спектральні сенсори й комп'ютерний зір дозволяють локалізувати плід, оцінити його стиглість, розташування в просторі, відстань до сусідніх елементів рослини. Від цього залежить оптимальна траєкторія руху, швидкість і параметри стиснення. У ряді систем застосовуються нейромережеві моделі, які навчаються на основі тисяч прикладів — як виглядає «готовий до збору» плід.

З технічної точки зору особливу складність становить баланс між розмірами захвату, його маневреністю й точністю приводу. Для маніпуляторів, що працюють у обмеженому об'ємі між гілками рослин, критично важливі такі параметри, як характерний розмір захвату у відкритому й закритому стані, максимальний радіус охоплення та найголовніше, можливість обтискання без втрати зчеплення. Розрахунок таких параметрів ускладнюється варіативністю геометрії плодів і непостійністю їх механічних властивостей — вологість, пружність, щільність можуть змінюватись навіть у межах одного сорту залежно від кліматичних умов або часу доби.

У контексті експлуатації в тепличних умовах варто додатково враховувати наявність агрохімікатів, які можуть взаємодіяти з матеріалами захватів, знижуючи їхню довговічність. Також не менш важливою є швидкість заміни або технічного обслуговування робочих органів, оскільки високий ступінь автоматизації передбачає мінімальне втручання оператора.

Формування вимог до захватного пристрою в умовах тепличного збирання потребує врахування ряду критеріїв: біомеханічних (відповідність анатомії плодів), фізико-хімічних (поверхнева пружність, наявність вологи), сенсорних (здатність адаптувати силу стиснення в реальному часі), а також ергономічних (компактність, обслуговуваність, безпека для рослин). Найперспективнішими залишаються м'які гнучкі захвати з адаптивною формою, керовані через зворотний зв'язок на основі зору та сили, інтегровані в багатофункціональні безлюдні платформи.

Таким чином, при проектуванні МРТС для автоматизованого збирання врожаю слід враховувати великий діапазон потреб та особливостей для конкретного плоду. Саме м'які захвати з адаптивним контролем у поєднанні з сенсорними технологіями дозволяють задовольнити вимогам, підвищити продуктивність і зменшити втрати через пошкодження врожаю. Водночас варто враховувати економічну доцільність впровадження таких рішень для малого аграрного бізнесу, де можуть бути вигідні гібридні або модульні варіанти конструкцій. Виходячи з проведеного аналізу, набуває більшу кількість переваг розробка м'яких захватів із більш доступною вартістю для впровадження у всі види аграрного сегменту для збору врожаю плодоовочевих.

Незважаючи на зазначені переваги такі як низький контактний тиск та надійне утримання, пряме застосування змінних конструкцій захоплювачів із м'якими оболонками ускладнюється наявністю двох типів приводів пневматичного та електричного. Для пошуків конструкцій, що дозволяють уникати різно-типовість приводів у одній конструкції було проаналізовано досвід робіт співробітників кафедри АКІТ ЧНУ ім. Петра Могили. На рис. 5

представлено три варіанти захоплювачів, що реалізовували роботу маніпулятора робота з одним типом приводу. Застосовність таких захватів вивчалась при виконанні робіт за проектом «Уран – 1» у ході створення маніпулятора для глибин 6500 метрів [26].

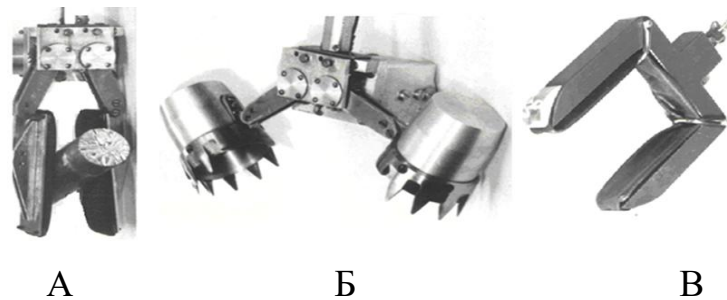


Рисунок 1.13 - Застосування конструктивних різновидів для створення захоплювачів маніпуляторів антропоморфного робота [26]: А – застосування м'яких оболонкових конструкцій без пневмоприводу; Б – застосування без затискного принципу; В – затискний оболонковий пневмопривідний захоплювач.

Як тоді показували випробування захватів, що маніпулятор і захоплювач повинні мати один тип приводу, а для формування форми поверхонь для надійного захоплення необхідно передбачати прогин за рахунок деформації м'яких оболонок (рис. 1.13 А). Разом з тим було визначено, що пошук принципів захоплення не завжди потребує притискання об'єкту. Експериментальні випробування захватів [26] показали, що маніпулятор і захоплювач повинні мати один тип приводу, а для формування форми поверхонь для надійного захоплення необхідно передбачати прогин за рахунок деформації м'яких оболонок (рис. 1.13 А).

Важливими є результати експериментальної інформації про характеристики плоду овочів та фруктів, що надано у роботі [27].

Таблиця 1.2 - Стратегії захоплення, адаптовані до різних характеристик об'єкта [27].

Об'єкт	Характеристика Об'єкту				Стратегія Захвату	
	Розмір (мм)	Вага (г)	Делікатність	Форма	Розміщення зі змінною жорсткістю	Збільшення жорсткості
(a) Помідор чері	25 x 25 x 31	13.5	М'яка	Сфірична	Знизу	Ні
(b) Виноград (одна гронка)	28 x 28 x 34	16.2	М'яка	Сфірична	Знизу	Ні
(c) Полуниця	39 x 34 x 50	27.3	М'яка	Різна	Середини	Ні
(d) Лимон	83 x 60 x 60	139.7	Міцна	Сфірична	Середини	Так
(e) Мандарин	72 x 72 x 53	148.7	Міцна	Сфірична	Середини	Так
(f) Банан	30 x 25 x 31	173.5	Міцна	Циліндрична	Знизу	Ні
(g) Гроно винограду	31 x 25 x 31	663.0	М'яка	Згупована	Знизу	Так
(h) Груша	32 x 25 x 31	771.0	Тверда	Сфірична	Зверху	Так
(i) Булочка	33 x 25 x 31	23.5	М'яка	Сфірична	Середини	Ні
(j) Торт «Кастелла»	34 x 25 x 31	88.4	Міцна	Циліндрична	Зверху	Ні

Приклади захоплення різних об'єктів подають інший підхід до застосування м'яких поверхонь [27].

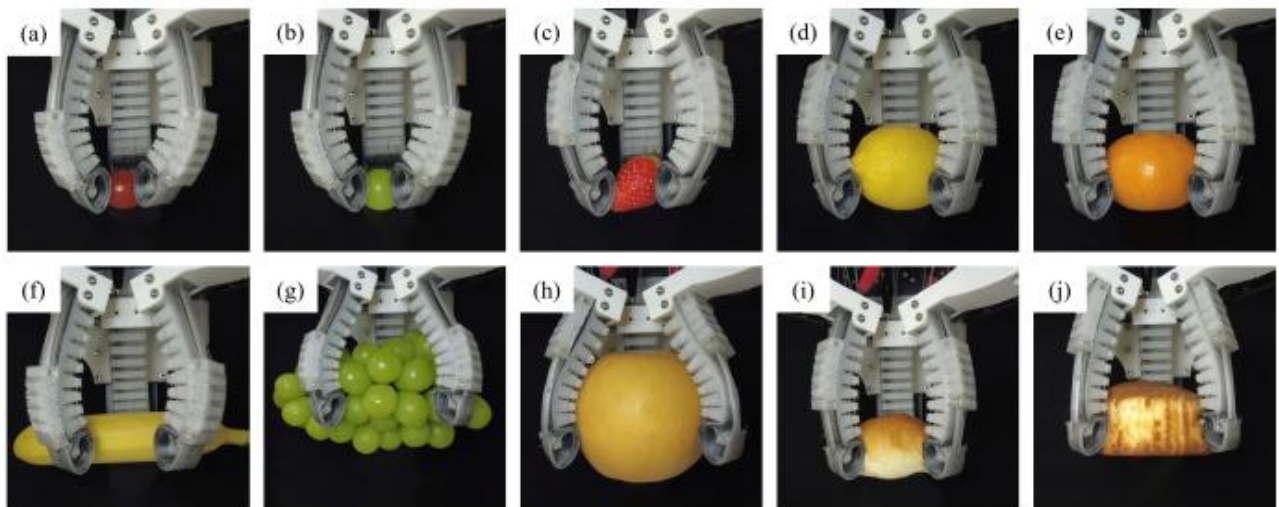


Рисунок 1. 14 - Тести на захоплення фруктів та хлібу, що демонструють здатність захоплювача утримувати предмети різних розмірів, форм та крихкості: (a) Помідори чері, (b) Зелений виноград (одна гронка), (c) Полуниця, (d) Лимон, (e) Мандарин, (f) Банан, (g) Гроно зеленого винограду, (h) Груша, (i) Булочка, (j) Торт «Кастелла» [27].

Конструкції захоплювачів з м'якими оболонками забезпечують надійне і просте захоплення плодоовочевих. Однак потреба двох типів приводів ускладнює устаткування маніпулятора та збільшує вартість робота у цілому.

Висновки до першого розділу

1. На підставі аналізу відкритих літературних та патентних джерел, встановлено, що рівень потреб агрономічного виробничого циклу, а також інтенсивний розвиток робототехніки, датчиків, комп'ютерно-інтегрованих технологій та автоматизованих систем керування створює передумови для широкого впровадження безлюдних технологій у сільському господарстві зокрема — у закритих та напівзакритих середовищах тепличного типу.
2. Розвиток автоматизованих систем збору врожаю засобами безлюдних технологій повинен здійснюватися шляхом інтеграції засобів мобільних робото-технічних систем, відео спостереження, керування через мобільні застосунки та дротові і бездротові мережі, також розвиток середовищ створення ефективних засобів користувацького інтерфейсу.
3. Розглянуті аналоги систем збору врожаю містять недоліки головними з яких є: орієнтованість на конкретні види плодів, наявність двох типів приводів, нездатність до простих заміन захоплювачів, як змінного інструменту, громіздкість та високу вартість обладнання.
4. Задача мінімізації пошкодження плодів під час збору врожаю є першочерговою задачею, а її розв'язок потребує створення нових засобів захвату, що здатні інтегруватися до складу роботів на борту мобільних робото-технічних систем при одночасному зменшенні загальних витрат.

2 РОЗВИТОК АСК БЕЗЛЮДНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ЗБОРУ ВРОЖАЮ В УМОВАХ ЗЕЛЕНИХ ФЕРМ

2.1 Розвиток структури АСК безлюдних технологій для збору врожаю в умовах зелених ферм

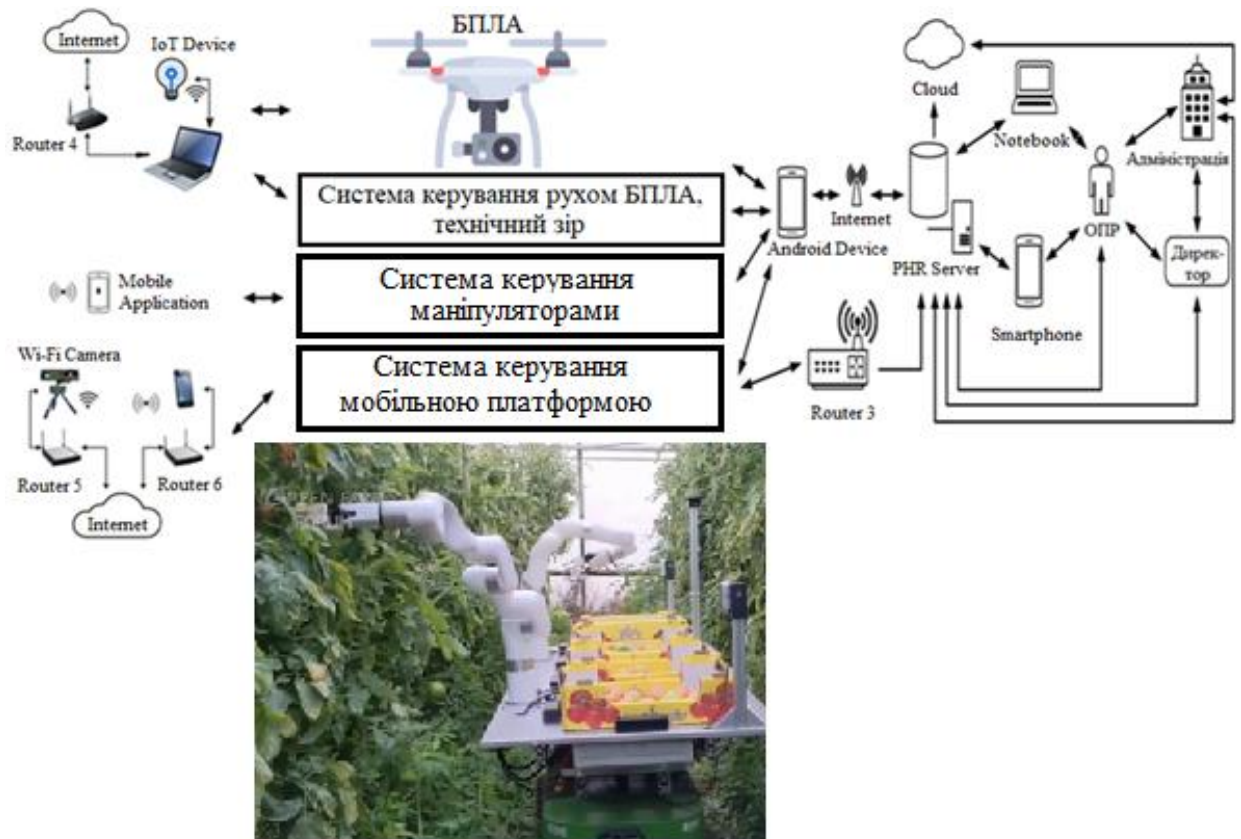
Автоматизовані системи керування (АСК) все більше знаходять впровадження до агропромислових підприємств, що дозволяє досягати високого рівня автономності, продуктивності. В умовах зелених ферм — замкнених або пів-замкнених просторових середовищ, з контрольованим мікрокліматом та обмеженим простором для маневрування структура АСК має відповідати специфічним вимогам: компактності, енергетичної ефективності, придатності до інтеграції у смарт інфраструктуру ферми.

Розвиток структури такої системи потребує розмежування функціональних підсистем і їх взаємозв'язків. Базова архітектура АСК безлюдної технології збору врожаю в умовах зеленої ферми передбачає такі основні компоненти: сенсорна підсистема сприйняття середовища; система прийняття рішень на основі алгоритмів штучного інтелекту; система виконавчих пристроїв, яка включає мобільну платформу бортовий робот із захоплювачем; систему бездротового зв'язку та моніторингу; інтерфейс користувача для контролю та налаштування параметрів роботи.

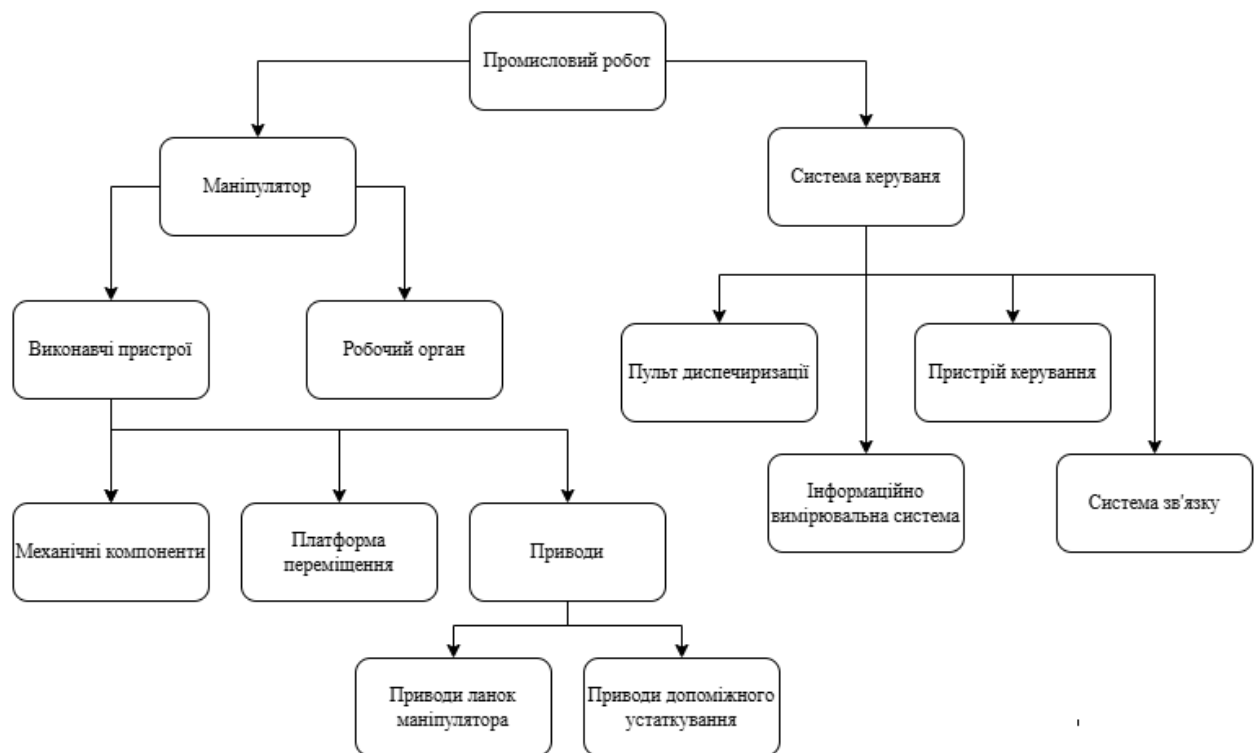
Сенсорна підсистема забезпечує збір даних про навколишнє середовище, включаючи візуальну інформацію (зображення рослин, плодів, перешкод), просторові координати (через стерео зір або лідар), фізичні параметри (температуру, вологість, освітленість) і параметри самої машини (положення, швидкість, рівень заряду). Особливу роль відіграють RGB-камери із високою роздільною здатністю та глибиною типу RealSense, які дають змогу створити тривимірну модель простору для точного позиціонування системи.

Узагальнену структуру бортового маніпулятора зображено на рисунку 2.1.

Застосування безлюдних технологій для збору врожаю в умовах зелених ферм



А



Б

Рисунок 2.1 – Концептуальна модель безлюдної ділянки збору врожаю, що інтегровано до АСК ферми: А – роботизована ділянка; Б – блок схема підсистем

Її розвиток, як виконавчого механізму забезпечується з'єднанням між собою кінематичних пар поступального та обертального типу. Було забезпечено просторове переміщення трьома або чотирма ланками, а орієнтація захоплювача забезпечується трьома ланками. Таким чином у якості бортового робота буде розглядатися робот з 6-7 ступенями рухливості та візуальним і відео очутливленням (рис. 2.1 А).

Маніпулятор, як механічна система, є багатоланковим просторовим механізмом, що керується із використанням трьох ланок, які забезпечують переміщення механізму орієнтації захвату. Його ключові компоненти включають виконавчий пристрій, що керує переміщенням ланок та активує робочий орган згідно з визначеними законами руху. Останнє забезпечує виконання необхідних технологічних процесів захоплення і відривання плоду та його переміщення до засобу пакування.

Маніпулятор, як правило, спроектовано із з'єднаних ланок різних типів: поступальні, обертальні, які утворюють кінематичні пари і забезпечують рух у циліндричних, сферичних та комбінованих системах координат. Поєднання кінематичних пар дозволяє досягти необхідного ступеня рухливості, що забезпечує виконання відповідно до поставлених перед механізмом задач.

Всі переміщення ланок здійснюються виконавчими пристроями завдяки інтегрованій системі приводів, де механічні компоненти та електронні об'єднують в єдине ціле, забезпечуючи загальну мобільність мехатронної системи.

Інформація датчиків про стани усіх підсистем, інформаційні потоки системи відео та спостереження за процесом від відеокамери БПЛА, стаціонарних та мобільних Wi-Fi камер передаються, обробляються та

представляються через інтерфейс особі, що приймає рішення (ОПР). ОПР та оператори при необхідності забезпечують керування рухом платформи двома чи більше маніпуляторами. Збільшення одночасно працюючих маніпуляторів з двох боків та на різних висотах підвищує швидкість збору врожаю. За ходом процесу збору відстежує БПЛА, що піднято на висоту для покращення огляду. Для моніторингу за станом системи, встановлено віддалені монітори, ноутбуки, роутери, які забезпечують надійність комунікацій через засоби інтернет дротових та бездротових мереж. Інформація, що визначена за переліком зберігається на сервері та накопичується в базі даних. ОПР, комунікує з адміністрацією та директором, що забезпечує швидку, якісну і ефективну взаємодію всіх ланок АСК.

В різні періоди вирощування АСК забезпечує виконання технологічних процесів. Водопостачання відбувається від місцевої системи. Відсутність води в час поливу може стати великою проблемою. Для незалежності від місцевого постачання води, вводяться резервні ємності як резервні, завдяки чому вони виконуватимуть функції «буферу» та резервуару для постійного постачання води, та фільтру від перепаду тиску в системі. Не менш важливою є контроль та обрізка зайвих гілок підпушка ґрунту після поливу. Електроживлення відбувається від місцевої системи енергопостачання. Живлення мікроконтролера йде від 5 вольт, такий же спад напруги використовується для керування контролерами. В той час як контролер живляться від 12 вольт та підживлює двигун. Для постійного живлення, на випадок вимкнення світла, використовується безперебійник, що виконує функцію як резервного постачання живлення, так фільтру від перепадів у електромережі.

2.2 Розвиток конструкції захватів маніпуляторів, що придатні до збору врожаю плодовоовочевих

На підставі результатів аналізу розділу 1 існуючих аналогів та патентованих рішень [2-10, 21-28] у автоматизації та впровадження безлюдних

технологій для збирання врожаю та сучасного рівня науково-технічного розвитку, було визначено як один із провідних напрям дослідження і розробки магістерської роботи: удосконалення конструкції захвату. Також було поставлено як задачу цього підрозділу обґрунтувати доцільність власного проектного рішення.

Аналіз необхідності практичних реалізацій такого пристрою у складі безлюдної ділянки збору врожаю, що інтегровано до АСК ферми і запропоновано у розділі 2.1 роботи продемонстровано на рисунку 2.1. Таким чином, враховуючи значне зростання інтересу до автоматизованого збирання овочів, фруктів і ягід, особливо в умовах контрольованого агросередовища — теплиць, вертикальних ферм і агрокомплексів закритого ґрунту, було розроблено захоплювач, схема якого подана на рисунку 2.3.

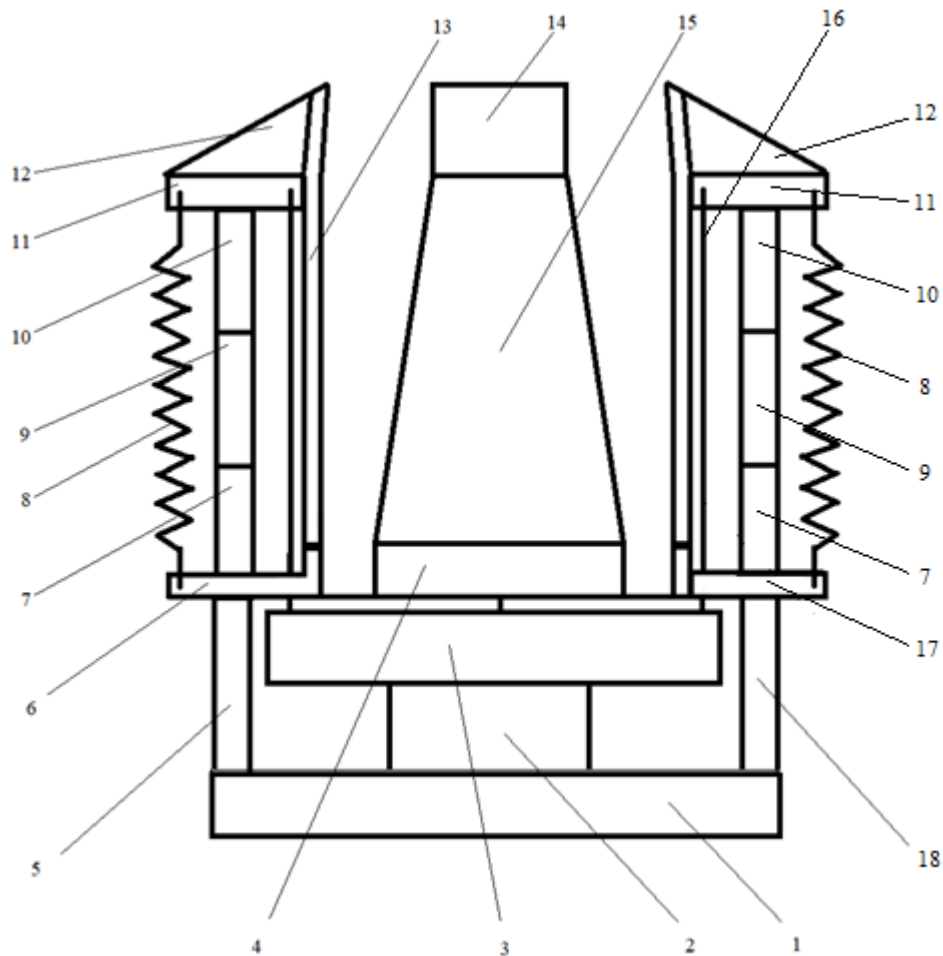


Рисунок 2.3 – Схематичне зображення структурних елементів захоплювача плоду фруктів та овочів

Конструкція захоплювача передбачає швидку зміну захоплювача як і захвати [22] та його аналоги, які містять фланець для швидкого роз'єднання. Крім того, цей елемент (позиція 1) містить засоби кріплення електричного двигуна 2 з редуктором та механізмом тросикових тяг 3. На фланці за допомогою стоек 5 та 17 закріплено пальці захвату. Кількість таких пальців може змінюватись залежно від задач. Упорною основою кожного із трьох пальців рисунку є планки 4, 6 та 17. Тросик 16, як це показано наприклад для правого пальця, як тяги тягнуть верхню планку 11 до нижніх планок 4, 6, 17 для усіх трьох пальців. Останнє деформує пружні елементи 7, 9, 10 та нахиляє пальці захвату у бік одне одного. Одночасно з цим розтягуючи пружини 8 кожного з трьох пальців. На кінцівці пальця встановлено адаптер для кріплення 12. Для кожного з пальців захвату закріплено один верхній край еластичного елемента 13. Елементи 13 мають трапецієвидну форму. Нижній край елементів 13 кріпиться до нижніх планок 4, 6, 17. На передню поверхню адаптеру 12 наноситься кольорові фарбові покриття 14.

2.3 Розвиток алгоритмів роботи, вибір мови програмування та розробка ПЗ

Для опису послідовності процедури використання був створений детальний опис кроків у вигляді блок-схеми алгоритму (рис. 2.4).

Блок-схема алгоритму складається з:

- Початок
- Подача живлення
- Ініціалізації мікропроцесору
- Отримання даних від модулів
- Вивід даних на екран
- Перевірка часу
- Обробка команди
- Активація плати контролера (драйвера)

Застосування безлюдних технологій для збору врожаю в умовах зелених ферм

- Подання живлення на двигун
- Перехід до положення БПЛА
- Змінення положення МРТС
- Ввімкнення/вимкнення роботів

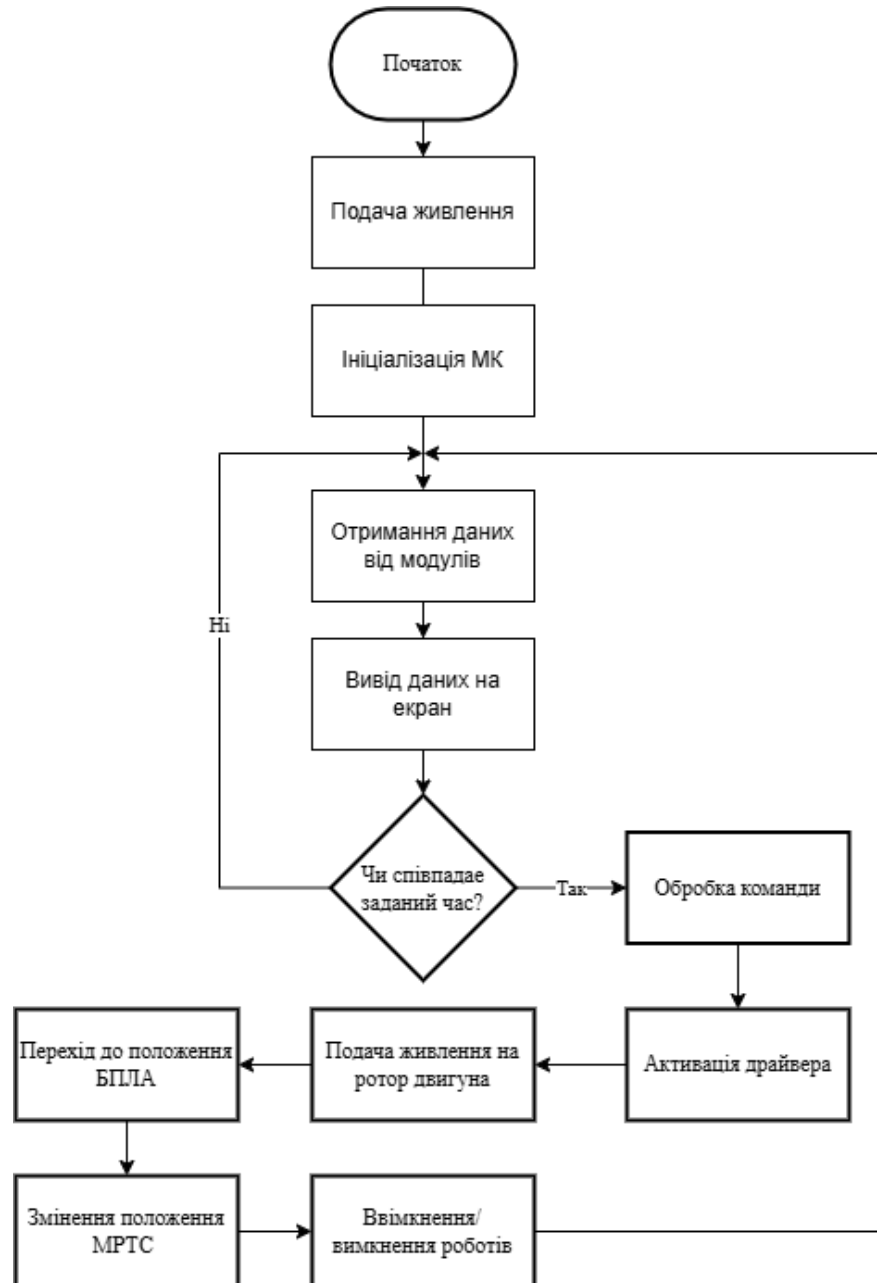


Рисунок 2.4 – Блок-схема алгоритму АСК збору врожаю

У першій стадії, з початку, перед запуском системи, ми зобов'язані виконати певні підготовчі дії. Перш за все, необхідно перевірити статус кожного елемента, їх якість приєднання та забезпечити належну ізоляцію.

Безпека системи під час її експлуатації є одним з ключових аспектів, якому також потрібно приділити належну увагу.

Після того, як ми переконалися у безпечному стані системи, настає час надати живлення конструкції. Це дозволяє активувати мікропроцесор на платі мікроконтролера та підготувати інші елементи системи, не турбуючись про можливі проблеми. В цей період мікропроцесор ініціює код та переводить систему в робочий стан. Також проходить запит до модуля RTC за для синхронізації часу.

Отримана інформація відображається на невеликому моніторі, де ми можемо спостерігати за станом системи. При збігу часу з встановленим в коді, відбувається процес обробки команди. Мікропроцесор активує драйвер, який контролює подачу живлення до двигуна та надає йому запит на ввімкнення.

Завдяки наданому живленню, роторний двигун змінює своє положення. При цьому, відбувається також зміна положення крана, який відповідає за подачу води на певну ділянку. В результаті відкривається кран, а вода поступово доставляється до ділянки, де зрошуються культури. Після цього мікропроцесор отримує нову інформацію від модуля RTC для актуалізації часу. Якщо заданий час у коді співпадає з часом в модулі RTC, сигнал надсилається на драйвер, що активує двигун, пов'язаний з краном.

Після певного періоду часу цей алгоритм повторюється, забезпечуючи автоматизовану та ефективну систему зрошення.

Для опису послідовності процедури виконання дії приладу був створений детальний опис кроків у вигляді блок-схеми алгоритму (рис. 2.5).

Блок-схема алгоритму складається з:

- Початок
- Ініціалізація положення в просторі
- Ініціалізація стану баз даних
- Отримання даних від оператора - постановка задачі
- Переміщення до місця

- Аналіз простору
- Виконання завдання
- Назначення завдання вільним маніпуляторам
- Переміщення до місця розвантаження
- Розвантаження кошику
- Переміщення до місця базування
- Кінець

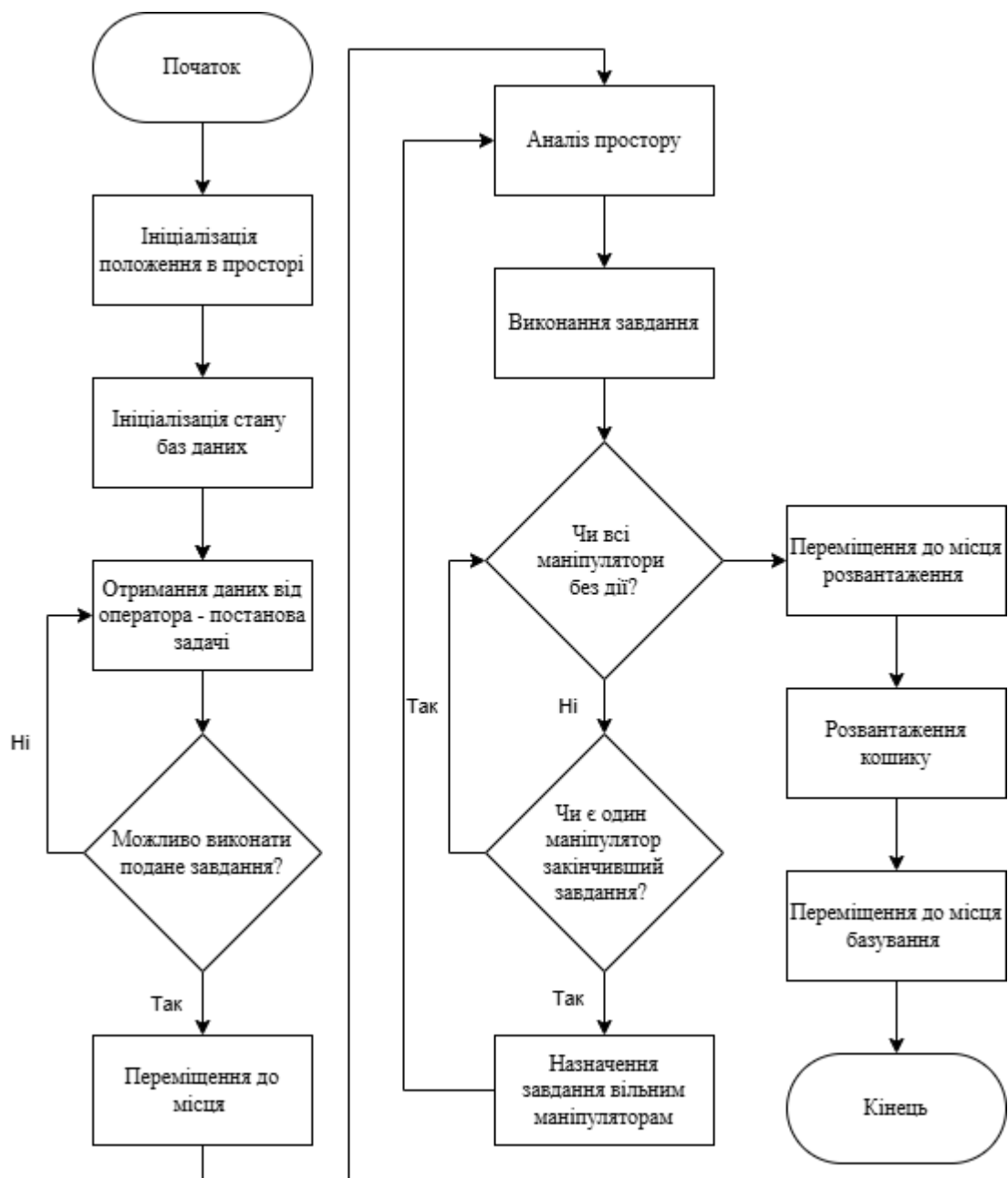


Рисунок 2.5 – Блок-схема алгоритму дії роботів

У першій стадії, з початку, перед запуском системи, ми зобов'язані виконати певні підготовчі дії. Перш за все, необхідно перевірити статус кожного елемента, їх якість приєднання та забезпечити належну ізоляцію. Безпека системи під час її експлуатації є одним з ключових аспектів, якому також потрібно приділити належну увагу.

На схемі рисунок 2.6 розміщується наступна інформація: пояснювальні написи, умовне відтворення принципу роботи функціональних вузлів, частини окремих елементів, діаграми переключень контактів, а також перелік використовуваних в даній схемі пристроїв. Данна електрична принципова схема має керування на основі мікроконтролера.

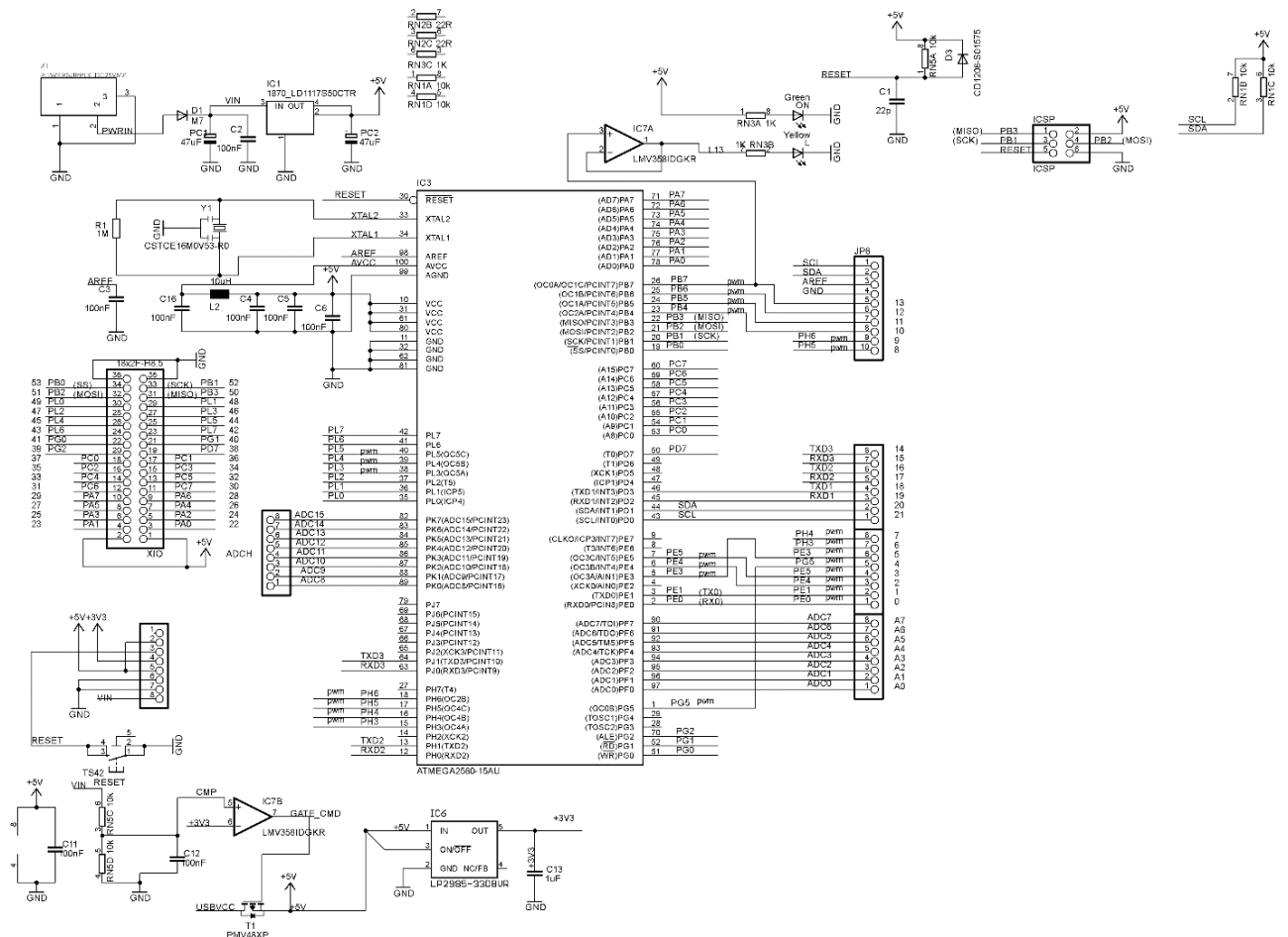


Рисунок 2.6 – Електрична принципова схема системи керування АСК

Дана система складається з мікроконтролер Arduino Mega 2560 який складається з декількох електричних компонентів, які працюють разом для забезпечення його функціональності.

Arduino Mega 2560 - це вдосконалена ітерація популярної серії Arduino, розроблена для забезпечення широкого спектру портів вводу/виводу, пам'яті та обчислювальної потужності. Вона слугує центром для створення складних проектів, які потребують великої кількості датчиків, приводів та зовнішніх компонентів. Arduino Mega 2560 зображений на рисунку 2.7.



Рисунок 2.7 – Arduino Mega 2560

В основі Arduino Mega 2560 лежить мікроконтролер ATmega2560, який є 8-бітним мікроконтролером AVR. Він містить центральний процесор, який виконує інструкції програми та керує загальною роботою плати.

Мікроконтролер покладається на зовнішній кварцовий генератор або резонатор для забезпечення тактового сигналу, який синхронізує час виконання операцій на платі. Цей тактовий сигнал визначає швидкість, з якою мікроконтролер виконує інструкції.

Arduino Mega 2560 має загалом 54 цифрові контакти вводу/виводу. Ці виводи можуть бути налаштовані як входи або виходи, що дозволяє мікроконтролеру взаємодіяти з різними зовнішніми пристроями та компонентами. Плата має 16 аналогових входних виводів, які можуть вимірювати безперервні рівні напруги. Ці виводи дозволяють мікроконтролеру зчитувати аналогові сигнали з датчиків або інших пристроїв.

В основі апаратної платформи Arduino Mega 2560 використовується мікроконтролер ATmega2560, який має 8-бітну архітектуру та функціонує на тактовій частоті 16 МГц. Об'єм вбудованої пам'яті мікроконтролера становить 256 КБ флеш-пам'яті для зберігання програмного коду, 8 КБ оперативної пам'яті SRAM та 4 КБ енергонезалежної пам'яті EEPROM для збереження важливих даних. Такий обсяг ресурсів забезпечує достатній рівень гнучкості для реалізації широкого спектру проєктів різного рівня складності.

Однією з ключових особливостей Arduino Mega 2560 є значна кількість доступних портів вводу/виводу. Плата має у своєму розпорядженні 54 цифрові виводи вводу/виводу, з яких 15 можуть працювати у режимі широтно-імпульсної модуляції (ШІМ), а також 16 аналогових входів. Ця конфігурація дозволяє без зусиль інтегрувати в систему численні датчики, виконавчі механізми, дисплеї та інші периферійні пристрої, що відкриває широкі можливості для створення складних автоматизованих і роботизованих систем. Технічні характеристики мікроконтролера Arduino Mega 2560 додані до роботи, і розміщена нижче, таблиця 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики Arduino Mega 2560

Мікроконтролер Arduino Mega 2560	
Характеристики	
Мікроконтролер	ATmega2560
Робоча напруга	5В
Напруга живлення (рекомендована)	7-12В
Напруга живлення (крайня):	6-20В
Цифрові входи/виходи	54
Аналогові входи	16
Максимальний струм одного виводу	40 мА
Максимальний вихідний струм виведення	3.3V 50 мА

Flash-пам'ять	256 КБ з яких 8 КБ використовуються завантажувачем
EEPROM	4 КБ
Тактова частота	16 МГц

Крім розширених можливостей вводу/виводу, мікроконтролерна плата Arduino Mega 2560 обладнана повним набором комунікаційних інтерфейсів, серед яких декілька портів UART (універсальний асинхронний приймач-передавач), шина I2C (інтерфейс міжінтегральної взаємодії), шина SPI (послідовний периферійний інтерфейс), а також USB-інтерфейс. Завдяки цим засобам забезпечується надійний обмін даними з зовнішніми пристроями: датчиками, виконавчими механізмами, дисплеями та іншими мікроконтролерними системами, що значно розширює функціональні можливості та дозволяє будувати комплексні мережеві рішення.

Для спрощення процесу розробки програмного забезпечення, плата підтримується офіційним середовищем розробки — Arduino IDE (Integrated Development Environment). Це інтуїтивно зрозуміле програмне середовище забезпечує зручні інструменти для написання, компіляції та завантаження програмного коду у мікроконтролер. Крім того, IDE надає доступ до великої бібліотеки готових програмних модулів, які активно створюються і підтримуються світовою спільнотою розробників. Це дозволяє значно скоротити час розробки і мінімізувати необхідність створення коду "з нуля".

Ще однією важливою перевагою Arduino Mega 2560 є сумісність із численними платами розширення (так званими shields). Ці модулі дозволяють швидко додавати до системи нові функції, такі як бездротовий зв'язок (Wi-Fi, Bluetooth), керування електродвигунами, підключення сенсорних дисплеїв тощо. Така модульна архітектура відкриває широкі можливості для розширення і налаштування апаратної платформи відповідно до потреб конкретного проекту.

Платформа Arduino Mega 2560 також підтримує гнучку організацію живлення. Мікроконтролер може працювати як від USB-інтерфейсу комп'ютера, так і від зовнішнього джерела живлення, при цьому вибір джерела здійснюється автоматично. В якості зовнішнього джерела можуть використовуватися адаптери змінного/постійного струму (AC/DC) або акумуляторні батареї. Для підключення адаптера використовується стандартний штекер (діаметр — 2,1 мм, позитивний центральний контакт), що підключається до відповідного роз'єму на платі. При використанні акумуляторів або батарей живлення подається безпосередньо на відповідні контакти живлення: GND та POWER.

Arduino Mega 2560 можна жити від зовнішнього джерела живлення або через USB-з'єднання. Для цього потрібне джерело живлення постійного струму з діапазоном напруги від 5 до 12V.

Напруга зовнішнього джерела живлення для плати Arduino Mega 2560 повинна знаходитись у межах від 6 до 20 V. Водночас зниження напруги нижче 7V може спричинити зниження стабілізованої напруги на виході 5V, що, у свою чергу, призводить до нестабільної роботи мікроконтролера та підключених до нього периферійних пристроїв. Використання напруги, що перевищує 12V, як правило, спричиняє перегрів лінійного стабілізатора напруги на платі, що може призвести до його пошкодження або виходу плати з ладу. З огляду на ці обмеження, рекомендованим є застосування джерел живлення з вихідною напругою в діапазоні від 7 до 12 V.

Популярність використання платформи Arduino зумовлена її простотою у створенні прототипів та відкритістю для розширення функціональності. Крім мови програмування, що базується на спрощеному діалекті C/C++, платформа дозволяє застосовувати й інші мови — включаючи асемблер (ASM) або повноцінний C/C++ — без необхідності заміни самої плати. Це забезпечує гнучкість у розробці програмного забезпечення та дає можливість у подальшому оптимізувати код або реалізувати більш складні алгоритми.

Вибір моделі Arduino Mega 2560 для створення прототипу обумовлений насамперед збільшеною кількістю доступних портів вводу/виводу, що дозволяє підключати більшу кількість сенсорів та виконавчих пристроїв.

Мова програмування пристроїв Ардуїно заснована на C/C++ і скомпонована з бібліотекою AVR Libc і дає змогу використовувати будь-які її функції. Водночас вона проста в освоєнні, і наразі Arduino - це, мабуть, найзручніший спосіб програмування пристроїв на мікроконтролерах.

Створення проекту на Arduino складається з 3 головних етапів: написання коду, прототипування (макетування) і прошивка. Для того, щоб написати код, а потім прошити плату, нам необхідне середовище розробки. Насправді їх є чимало, але ми програмуватимемо в оригінальному середовищі - Arduino IDE. Сам код писатимемо на Arduino. Завантажити можна на офіційному сайті.

Модуль часу RTC приєднується до мікроконтролера. Окрім живлення від мікроконтролера, RTC має власну батарею на 3V, для постійного функціонування. Завдяки їй, годинник працює навіть після вимкнення пристрою чи при відсутності живлення від під'єднаної плати. Електрична – принципова схема модуля часу RTC додана до роботи, та розміщена нижче, рисунок 2.8.

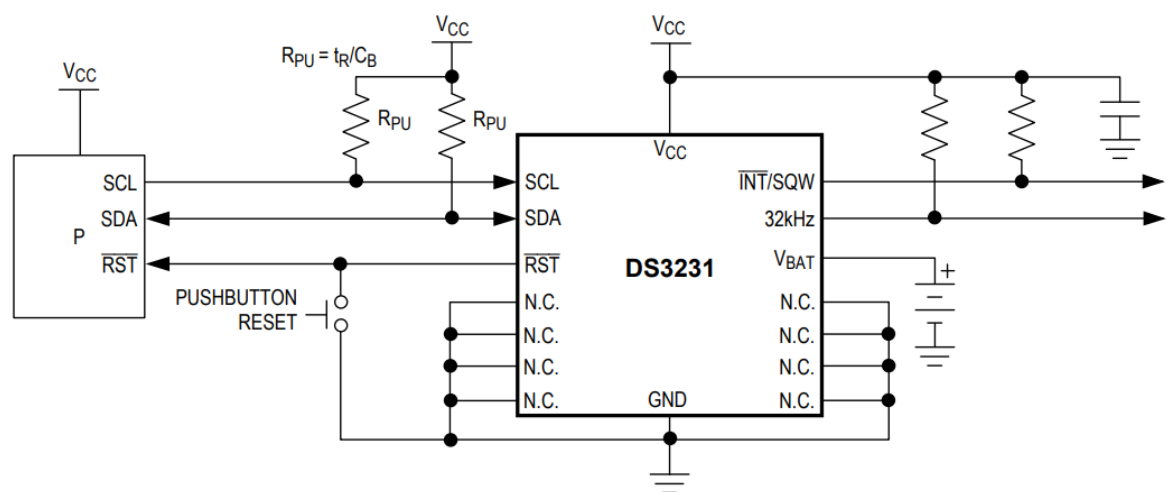


Рисунок 2.8 – Електрична принципова схема RTC

RTC – DS3231, що розшифровується як Real-Time Clock, - це малопотужний, високоточний годинниковий модуль, який широко використовується для обліку часу в різних додатках. Цей невеликий та потужний модуль забезпечує виняткову точність, яка робить його безцінним інструментом для чутливих до часу проектів, систем реєстрації даних чи автоматизації. Модуль часу (RTC) зображений на рисунку 2.9.

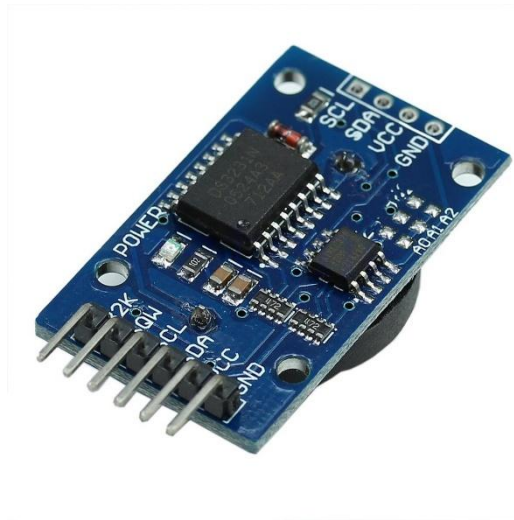


Рисунок 2.9 – Модуль часу (RTC)

З першого погляду, RTC – DS3231 виглядає як невелика інтегральна схема, інкапсульована в компактному корпусі. Його простота та компактність не відповідають потужності і функціональності, якими він володіє. Під його зовнішнім виглядом ховається безліч можливостей, які виводять його в окремий список (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики модулю часу RTC – DS3231

Модуль часу RTC – DS3231	
Характеристики	
Календар	до 2100 року
Похибка	+/- 4ppm
Кількість будильників	2
Вихід стабільної частоти	1-32768 Гц

Напруга живлення	2,7 - 5,3 В
Напруга батареї	2,3 - 5,3 В
Струм споживання	250 мкА
Струм споживання від батареї	3 мкА
Поріг перемикачання на батарею	2,6 В
Інтерфейс	I2C
Розміри	40x22 мм

Однією з ключових особливостей модуля реального часу RTC DS3231 є висока точність хронометражу. Завдяки інтегрованому кварцовому генератору з температурною компенсацією (КГТК), модуль забезпечує точність до ± 2 частин на мільйон (ppm), що відповідає приблизно 1,7 секунди відхилення на добу. У деяких версіях допускається похибка до ± 4 ppm. Такий рівень точності є надзвичайно важливим у застосуваннях, де необхідно забезпечити стабільне й точне відображення або облік часу.

Модуль має широкий діапазон робочої напруги — від 2,3 до 5,5 В, що забезпечує сумісність із різноманітними мікроконтролерами та платами розробки, включаючи Arduino, ESP32, STM32 та інші. Завдяки цьому модуль легко інтегрується у проекти з різними апаратними платформами.

Важливою перевагою RTC DS3231 є можливість автономної роботи навіть за відсутності основного живлення. Це досягається завдяки використанню резервного джерела живлення — зазвичай літієвої батареї типу CR2032. При зникненні основного живлення модуль автоматично перемикається на резервне, продовжуючи відлік часу без втрат та збоїв. Така функціональність є особливо цінною в пристроях, що піддаються періодичним перебоям живлення.

Крім базової функції хронометражу, RTC DS3231 пропонує розширені можливості: він має програмовані будильники, вбудований цифровий термодатчик та програмовані виходи з прямокутною формою сигналу. Будильники дозволяють задавати конкретний момент часу для генерації

сигналу переривання, що може бути використано для пробудження мікроконтролера або активації певної події у системі. Прямокутні вихідні сигнали (SQW/OUT) можуть бути налаштовані для генерації тактових імпульсів з частотою 1 Гц, 4,096 кГц, 8,192 кГц або 32,768 кГц, що забезпечує додаткові можливості синхронізації у різних електронних схемах.

ESP8266 (ESP-01) - це компактний і економічний модуль Wi-Fi, який широко використовується у вбудованих системах і додатках Інтернету речей (IoT). Розроблений компанією Espressif Systems, цей модуль поєднує в собі потужний мікроконтролер з повним стеком TCP/IP, що дозволяє пристроям підключатися до бездротових мереж і передавати дані без необхідності використання окремого процесора. Його популярність обумовлена доступністю, малим форм-фактором і гнучкістю як в автономних, так і в керованих хостом конфігураціях. Модуль Wi-Fi ESP8266 (ESP-01) зображений на рисунку 2.10.

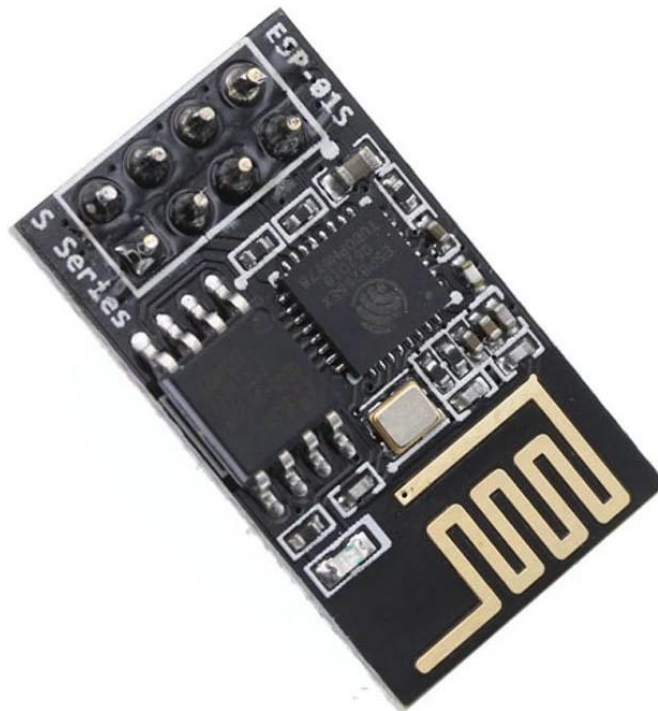


Рисунок 2.10 – Модуль Wi-Fi ESP8266 (ESP-01)

Фізично версія ESP-01 має невелику друковану плату з вісьмома контактами і вбудованою антеною, що робить її придатною для конструкцій з

обмеженим простором. Незважаючи на свою простоту, модуль містить основні компоненти, необхідні для базового Wi-Fi зв'язку та управління GPIO. Він працює на базі 32-розрядного мікроконтролера Tensilica L106, що працює на частоті до 80 МГц (або 160 МГц з можливістю розгону), і оснащений 1 МБ флеш-пам'яті для зберігання мікропрограми та коду додатків.

ESP-01 може працювати в двох основних режимах: режим станції, коли він підключається до існуючої мережі Wi-Fi як клієнт, і режим точки доступу, коли він створює власну бездротову мережу для прямого зв'язку між пристроями. Він також підтримує змішаний режим, функціонуючи і як точка доступу, і як станція одночасно. Така гнучкість дозволяє йому виконувати різні ролі, такі як вузол датчика Wi-Fi, віддалений перемикач, реєстратор даних або інтерфейс управління.

Зв'язок з ESP-01 зазвичай здійснюється через стандартний інтерфейс UART (універсальний асинхронний приймач/передавач), що дозволяє підключати його до хост-мікроконтролера або ПК. Команди видаються за допомогою набору команд AT, який включає інструкції для приєднання до мереж, відправки або отримання даних, конфігурації налаштувань і багато іншого. Для досвідчених користувачів модуль можна перепрограмувати за допомогою спеціальної прошивки, наприклад, скетчів NodeMCU або Arduino, перетворивши його на повністю автономний мікроконтролер, здатний обробляти вхідні дані з датчиків, обробляти дані та здійснювати хмарний зв'язок.

Що стосується живлення, ESP-01 вимагає регульованого входу 3,3 В, і необхідно подбати про те, щоб забезпечити достатню силу струму під час сплесків передачі, які можуть перевищувати 200 мА. Схеми зсуву рівня також часто потрібні при взаємодії з 5В логічними мікроконтролерами, щоб запобігти їх пошкодженню.

Одним з ключових обмежень ESP-01 є обмежена кількість доступних виводів GPIO - доступні лише дві універсальні лінії вводу/виводу (GPIO0 і

GPIO2), що обмежує його використання в додатках, які вимагають підключення декількох периферійних пристроїв. Однак для завдань, орієнтованих в першу чергу на бездротовий зв'язок, цього зазвичай достатньо.

Безщіткові серводвигуни постійного струму (БСПС) - це важливий тип електричних двигунів, які використовуються у високопродуктивних і прецизійних системах. Високомоментні серводвигуни БСПС потужністю понад 200 кВт - це спеціалізовані пристрої, призначені для промислових систем, які потребують постійного крутного моменту, точного позиціонування та ефективного керування. Безщітковий серводвигун постійного струму зображений на рисунку 2.11.



Рисунок 2.11 – Безщіткові серводвигуни постійного струму

На відміну від звичайних щіткових двигунів постійного струму, двигуни БЗПС усувають механічну комутацію, замінюючи її електронним перемиканням, що значно зменшує знос і подовжує термін служби двигуна. У випадку варіанту з високим крутним моментом ця архітектура масштабується і оптимізується для роботи з великою потужністю, зберігаючи при цьому точні характеристики сервокерування.

Конструктивно такий двигун зазвичай має ротор з постійними магнітами і статор з трифазною обмоткою. Збудження статора контролюється за

допомогою складного електронного контролера, який регулює швидкість і положення двигуна за допомогою зворотного зв'язку від енкодерів або резольверів. Високий вихідний крутний момент досягається завдяки ретельній електромагнітній конструкції, високоякісним матеріалам і вдосконаленим системам терморегулювання. Креслення БСПС зображена на рисунку 2.12.

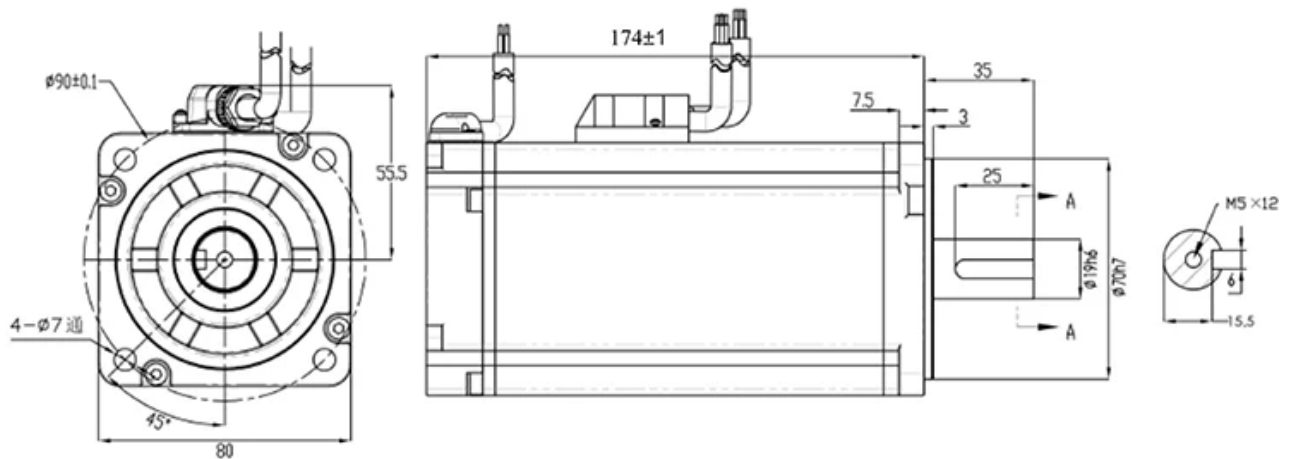


Рисунок 2.12 – Креслення безщіткового серводвигуна постійного струму (БСПС)

Ключові особливості цих двигунів включають в себе:

- Висока щільність крутного моменту - досягається завдяки використанню рідкоземельних постійних магнітів (наприклад, неодим-залізо-бор), оптимізованим шляхам магнітного потоку та жорстким допускам на повітряні зазори. Це дозволяє двигуну передавати великий крутний момент навіть на низьких швидкостях - критично важливо для сервоприводів в умовах високих навантажень.
- Точне керування - Керування положенням і швидкістю, як правило, здійснюється за допомогою алгоритмів польового керування і систем зворотного зв'язку в реальному часі. Це забезпечує мінімальну похибку позиціонування та безперебійну роботу.
- Висока ефективність - Коефіцієнт корисної дії може перевищувати 95%, в основному завдяки відсутності тертя щіток і використанню магнітних матеріалів з низькими втратами.

- Інтегрована система охолодження - Завдяки високій потужності (200 кВт і вище) для відведення тепла і підтримки стабільної роботи використовуються передові методи охолодження, такі як рідинне охолодження або примусова вентиляція.
- Міцна конструкція - Механічний корпус часто посилюється, щоб витримувати значні навантаження, особливо в таких пристроях, як промислові преси, електричні двигуни літаків або морські рушії, що вимагають високого крутного моменту.

Інтелектуальний контролер двигуна є критично важливим компонентом сучасних систем керування двигуном, що дозволяє точно регулювати роботу мотора за допомогою цифрових інтерфейсів зв'язку. Серед найпоширеніших стандартів зв'язку для таких контролерів - CAN (Controller Area Network) і RS-232. Ці інтерфейси забезпечують надійне, гнучке та масштабоване керування двигунами, особливо в автоматизації, робототехніці, електромобілях та промисловому обладнанні. Контролер CAN RS232 БСПС двигуна зображений на рисунку 2.13.



Рисунок 2.13 – Контролер CAN RS232 БСПС

Контролер двигуна, оснащений інтерфейсами CAN і RS-232, поєднує в собі високорівневу вбудовану обробку з комунікаційними можливостями, що дозволяє здійснювати управління, діагностику та моніторинг в режимі реального часу. Ці контролери часто інтегровані з алгоритмами замкненого циклу для керування швидкістю, крутним моментом і положенням, а також включають підтримку різних типів двигунів, таких як безщіткові двигуни постійного струму (БСПС), щіткові двигуни постійного струму і крокові двигуни.

Інтерфейс CAN пропонує високошвидкісний, відмовостійкий протокол зв'язку, який широко використовується в автомобільних і промислових мережах. Він дозволяє декільком пристроям (вузлам) обмінюватися даними через загальну шину, що робить його ідеальним для систем, де кілька контролерів або датчиків повинні працювати синхронно. CAN підтримує такі функції, як обмін повідомленнями на основі пріоритетів, виявлення помилок та арбітраж, забезпечуючи надійний обмін даними навіть в електрично зашумлених середовищах.

З іншого боку, інтерфейс RS-232 - це застарілий стандарт послідовного зв'язку, який залишається у використанні завдяки своїй простоті та широкій доступності. Незважаючи на те, що RS-232 обмежений з'єднанням «точка-точка» і низькою швидкістю передачі даних, він корисний для початкового налаштування, налагодження або автономних сценаріїв управління. Він забезпечує прямий зв'язок з ПК, мікроконтролерами або людино-машинними інтерфейсами (НМІ), надаючи доступ до параметрів двигуна, оновлень прошивки або тестових послідовностей.

В основі інтелектуального контролера лежить мікропроцесор або цифровий сигнальний процесор (DSP), на якому запущено керуюче програмне забезпечення. Це програмне забезпечення зазвичай включає такі розширені функції, як:

- Контроль, орієнтований на поле (FOC) для плавного регулювання крутного моменту і швидкості.
- PID-регулятори для точного зворотного зв'язку за положенням і швидкістю.
- Механізми виявлення несправностей (перевантаження по струму, перегріву, виявлення зупинки).
- Телеметрія в реальному часі через CAN або RS-232 для діагностики системи.

Такі контролери також включають інтерфейси для зовнішніх датчиків (наприклад, енкoderів, датчиків ефекту Холла) і силовій електроніки (наприклад, Н-міст або трифазні інвертори). Залежно від застосування, контролер може також підтримувати рекуперативне гальмування, плавний пуск або програмовані профілі прискорення.

У сучасних системах автоматизації поєднання CAN і RS-232 забезпечує гнучкість: CAN слугує основою для розподіленого керування в режимі реального часу, тоді як RS-232 забезпечує зворотну сумісність і легку інтеграцію з попередніми системами або користувацькими інтерфейсами. Ця архітектура з двома інтерфейсами дозволяє використовувати інтелектуальний контролер двигуна в найрізноманітніших середовищах, від мобільних роботів до промислового обладнання.

Ми в змозі знехтувати та умовно не подавати схему системи безперебійного живлення в нашій електричній принциповій схемі, оскільки вона не вважається частиною пристрою. Використання безперебійних систем живлення зумовлено скрутністю ситуації з енергопостачанням на ділянки більшої частини ферм та проблемами, що безумовно виникатимуть в енергопостачанні та якості напруги. Живлення буде під'єднано до станції від якої буде житись мобільна платформа, а в самій платформі будуть акумулятори для подальшого живлення системи під час виконання поставлених завдань.

Висновки до другого розділу

1. Розроблена структури АСК безлюдних технологій для збору врожаю в умовах зелених ферм є прикладом імплементації безлюдних технологій для збору врожаю в умовах зелених ферм. Її структура повинна включати: сенсорну підсистему сприйняття середовища; систему прийняття рішень на основі алгоритмів штучного інтелекту; систему виконавчих пристроїв, яка включає мобільну платформу, бортовий робот із захоплювачем; систему бездротового зв'язку та моніторингу; інтерфейс користувача для контролю та налаштування параметрів роботи.
2. Розроблено конструкцію захоплювача, яка здатна реалізувати м'яке захоплення плодів фруктів та овочів через м'які гнучкі елементи, застосовує привод єдиного з маніпулятором електричного типу і містить механізм швидкої зміни.
3. Розроблено алгоритм роботи, який узагальнює процеси при роботі структури АСК безлюдних технологій для збору врожаю в умовах зелених ферм, а вибір мови програмування для забезпечення роботи та подальшого дослідження, корекції і розробки ПЗ забезпечуватиме його удосконалення та впровадження.
4. Проаналізовано особливості реалізації електричної – принципової схеми елементів системи для глибшого розуміння ключових принципів роботи автоматизованої системи. Для глибшого розуміння процесів сформульовано опис принципу роботи кожного з ключових електричних компонентів АСК для контролю над процесами, а також встановлено і означено взаємозалежність в системі електричних компонентів та обмежень і вимог.

3 РОЗВИТОК ТА РЕАЛІЗАЦІЯ АПАРАТНИХ ЗАСОБІВ АСК БЕЗЛЮДНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ЗБОРУ ВРОЖАЮ В УМОВАХ ЗЕЛЕНИХ ФЕРМ

3.1 Розвиток апаратних засобів АСК збору врожаю плодоовочевих

Як показує аналіз, що представлено в розділі 1 в АСК все більше знаходять впровадження до агропромислових підприємств конструкції у пиле-водо захищеному варіанті. Останнє дозволяє досягати високого рівня автономності, продуктивності та довговічності. В умовах зелених ферм, всі елементи працюють замкнених або пів-замкнених просторових середовищ, з контрольованим мікрокліматом та обмеженим простором елементи структури АСК мають відповідати певним специфічним вимогам: водо-захищеності, компактності, енергетичної ефективності, придатності до інтеграції у смарт інфраструктуру ферми.

У зв'язку з цим розвиток елементів структури такої системи потребує розмежування функціональних підсистем і їх взаємозв'язків та оскільки всі вони працюють в означених умовах їх конструктивні форми повинні бути герметично з'єднанні або суцільними або виноситись за межі таких умов. Базова архітектура АСК безлюдної технології збору врожаю в умовах зеленої ферми передбачає такі основні компоненти: сенсорна підсистема сприйняття середовища; система прийняття рішень, які нескладно реалізуються із захисними плівковими захисними засобами. Найбільш вразливими є маніпулятори, виконавчі пристроями із рухомими частинами та платформи з бортовим роботом із захоплювачем. На сьогодні одним із рішень розв'язку проблеми пиле-волого захищеності є адитивні технології які здатні виготовляти суцільні конструктиви. Враховуючі означене, розглядатимемо як робочий варіант маніпулятора приклад 3D моделі маніпулятора, що придатний для виготовлення із пластикових матеріалів на 3D принтері. На рисунку 3.1 представлено 3D модель маніпулятора [21]. Вона містить розвинену основу із

нижнім фланцем для кріплення до фундаменту а у нашому випадку до спеціальної платформи корпусу мобільної робото-технічної системи.

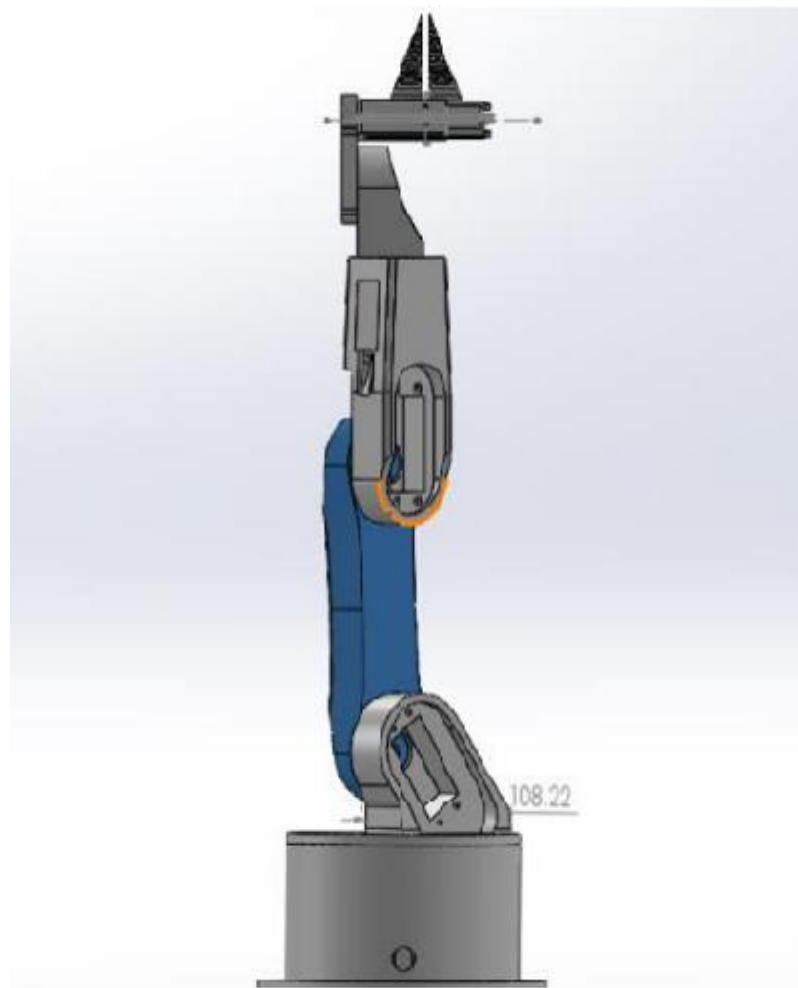


Рисунок 3.1 – 3D модель маніпулятора у одному із вертикальних положень

Привод першої ланки, що її обертає навколо вертикальної вісі розташовано в нутрі корпусу базової ланки. Перша ланка спирається на опорно-упорний підшипник своїм нижнім кінцем, а її верхній циліндричний шарнір зміщено від вертикальної висі нижнього валу у бік 75 мм. Загальний виліт до найдальшої точки захоплювача склав 1525,53 мм. Як показують розрахунки перехідна ланка + “зап’ястя”: $m = 6,9 + 2 = 8,9$ (кг), що відповідає 89 Н. На рисунку 3.2 показано 3D модель кронштейну із захоплювачем, що розглядається як прототип. Не зважаючи на те що кронштейн забезпечує зміну захоплювача, але він не є конструктивним рішенням швидкої зміни як це

виконано для захватів зборки плат радіо електронних компонентів [22]. Заміна кронштейну прототипу на фланець, що передбачає його від'єднання та постановку до маніпулятора за принципом втулки та штуцера швидкого роз'єднання та підпружиненої фіксації.

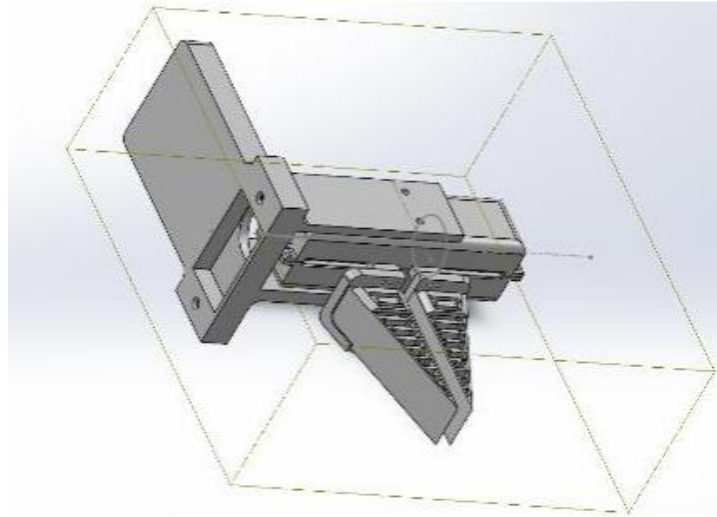


Рисунок 3.2 – 3D модель кронштейн із захоплювачем, що розглядається як прототип

На рисунку 3.3 представлено кінематичну схему бортового маніпулятора, у одному із можливих випадків експериментального гальмування ланок для визначення їх допустимої мінімальної кількості.

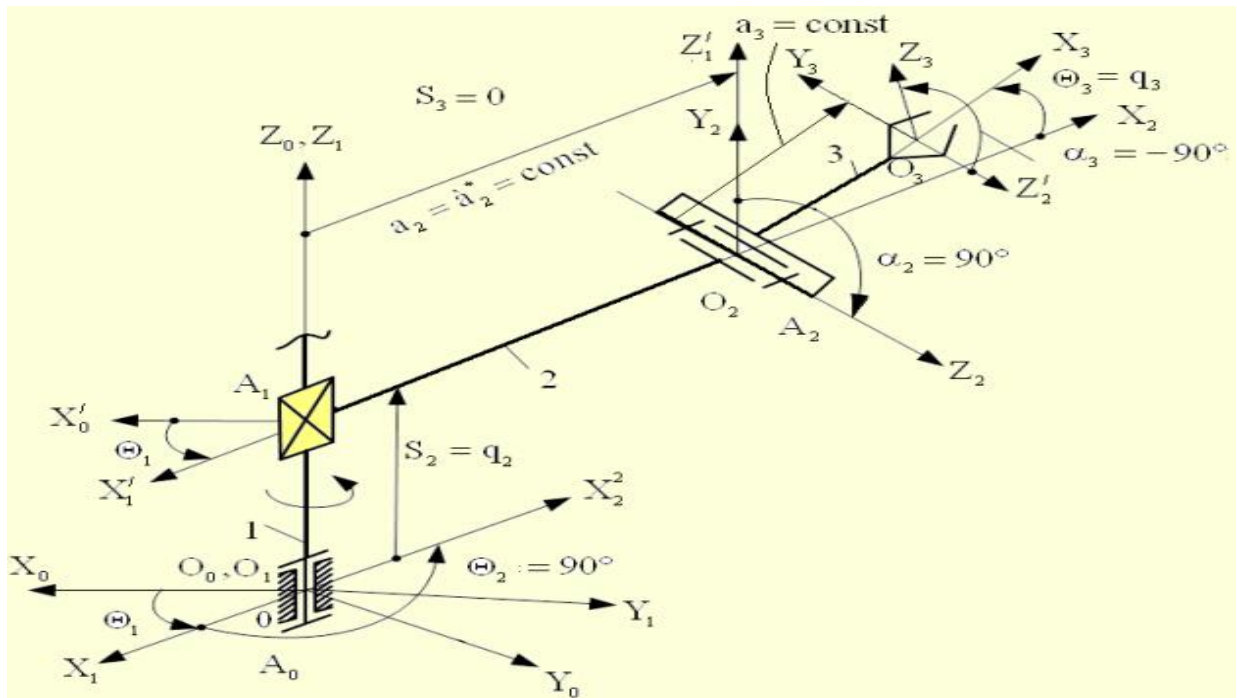


Рисунок 3.3 - Кінематична схема бортового маніпулятора

Для проведення рухів маніпулятора позначимо закон зміни узагальнених координат $q_i(t)$. Застосуємо один із ефективних матричних методів Денавита – Хартенберга, що дозволить визначити положення захвату та інших ланок маніпулятора у просторі, тобто визначити координати їх характерних точок та орієнтацію як функцію часу, що формально подано у виді добутку:

$$\bar{r}_{MO} = {}^0A_4 \overline{O_4M}$$

Введемо для довільної i - ої ланки матрицю ${}^{i-1}A_i$, що подає представлення перетворень при переході від $i-1$ - ої системи координат до i - ої:

$${}^{i-1}A_i = A_{z,d_i} A_{z,\theta_i} A_{x,a_i} A_{x,\alpha_i}.$$

Таке представлення є універсальним. Якщо вісь OZ_i i - ої ланки спрямовуємо за напрямом вісі обертального або поступального рухів, то для кінематичної

схеми рисунок 3.3 з обертальними та поступальними n ланками перехід від n – ої до базової ланки запишемо:

$${}^0A_n = {}^0A_1 {}^1A_2 \cdots {}^{i-1}A_i \cdots {}^{n-1}A_n.$$

Саму ж ${}^{i-1}A_i$ - матрицю узагальненого зв'язку між системами координат шарнірів ланок подаємо, як результат представлення чотирьох узагальнених зсувів. Для цього скористаємось одиничною матрицею та матрицею повороту у однорідних координатах.

Переміщення по вісі OZ_i на величину d_i :

$$A_{z,d_i} = \begin{bmatrix} 1; 0; 0; 0 \\ 0; 1; 0; 0 \\ 0; 0; 1; d_i \\ 0; 0; 0; 1 \end{bmatrix}.$$

Поворот навколо вісі OZ_i на кут θ_i :

$$A_{z,\theta_i} = \begin{bmatrix} \cos \theta_i; -\sin \theta_i; 0; 0 \\ \sin \theta_i; \cos \theta_i; 0; 0 \\ 0; 0; 1; 0 \\ 0; 0; 0; 1 \end{bmatrix}.$$

Переміщення по вісі OX_i на величину a_i

$$A_{x,a_i} = \begin{bmatrix} 1; 0; 0; a_i \\ 0; 1; 0; 0 \\ 0; 0; 1; 0 \\ 0; 0; 0; 1 \end{bmatrix}.$$

Поворот навколо вісі OX_i на кут $\theta_i \alpha$

$$A_{x, \alpha_i} = \begin{bmatrix} 1; & 0; & 0; 0 \\ 0; \cos \alpha_i; -\sin \alpha_i; 0 \\ 0; \sin \alpha_i; \cos \alpha_i; 0 \\ 0; & 0; & 0; 1 \end{bmatrix}$$

Таким чином перемножимо та отримаємо матрицю перетворення для однієї ланки:

$${}^{i-1}A_i = \begin{bmatrix} \cos \theta_i; -\cos \alpha_i \sin \theta_i; \sin \alpha_i \sin \theta_i; a_i \cos \theta_i \\ \sin \theta_i; \cos \alpha_i \cos \theta_i; -\sin \alpha_i \cos \theta_i; a_i \sin \theta_i \\ 0; \sin \alpha_i; \cos \alpha_i; d_i \\ 0; 0; 0; 1 \end{bmatrix}$$

Застосуємо почергове множення. Перший множимо на другий отримаємо:

$$\begin{bmatrix} 1; 0; 0; 0 \\ 0; 1; 0; 0 \\ 0; 0; 1; d_i \\ 0; 0; 0; 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta_i; -\sin \theta_i; 0; 0 \\ \sin \theta_i; \cos \theta_i; 0; 0 \\ 0; 0; 1; 0 \\ 0; 0; 0; 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_i; -\sin \theta_i; 0; 0 \\ \sin \theta_i; \cos \theta_i; 0; 0 \\ 0; 0; 1; d_i \\ 0; 0; 0; 1 \end{bmatrix}.$$

Добуток першого на другий множимо на третій

$$\begin{bmatrix} \cos \theta_i; -\sin \theta_i; 0; 0 \\ \sin \theta_i; \cos \theta_i; 0; 0 \\ 0; 0; 1; d_i \\ 0; 0; 0; 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1; 0; 0; a_i \\ 0; 1; 0; 0 \\ 0; 0; 1; 0 \\ 0; 0; 0; 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_i; -\sin \theta_i; 0; a_i \cos \theta_i \\ \sin \theta_i; \cos \theta_i; 0; a_i \sin \theta_i \\ 0; 0; 1; d_i \\ 0; 0; 0; 1 \end{bmatrix}$$

Добуток перших трьох множимо на четвертий множник

$$\begin{bmatrix} \cos \theta_i; -\sin \theta_i; 0; a_i \cos \theta_i \\ \sin \theta_i; \cos \theta_i; 0; a_i \sin \theta_i \\ 0; 0; 1; d_i \\ 0; 0; 0; 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1; 0; 0; 0 \\ 0; \cos \alpha_i; -\sin \alpha_i; 0 \\ 0; \sin \alpha_i; \cos \alpha_i; 0 \\ 0; 0; 0; 1 \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} \cos \theta_i; -\cos \alpha_i \sin \theta_i; \sin \alpha_i \sin \theta_i; a_i \cos \theta_i \\ \sin \theta_i; \cos \alpha_i \cos \theta_i; -\sin \alpha_i \cos \theta_i; a_i \sin \theta_i \\ 0; \sin \alpha_i; \cos \alpha_i; d_i \\ 0; 0; 0; 1 \end{bmatrix}$$

Остаточно запишемо

$${}^0A_4 = \prod_{i=1}^4 \begin{bmatrix} \cos \theta_i; -\cos \alpha_i \sin \theta_i; \sin \alpha_i \sin \theta_i; a_i \cos \theta_i \\ \sin \theta_i; \cos \alpha_i \cos \theta_i; -\sin \alpha_i \cos \theta_i; a_i \sin \theta_i \\ 0; \sin \alpha_i; \cos \alpha_i; d_i \\ 0; 0; 0; 1 \end{bmatrix}$$

Тепер представимо центр мас захвату точку М (рис.3) у рухомій системі координат $O_4X_4Y_4Z_4$ вектором O_4M , що запишемо у базовій системі координат:

$$\bar{r}_{MO} = {}^0A_4 \overline{O_4M} = \prod_{i=1}^4 \begin{bmatrix} \cos \theta_i; -\cos \alpha_i \sin \theta_i; \sin \alpha_i \sin \theta_i; a_i \cos \theta_i \\ \sin \theta_i; \cos \alpha_i \cos \theta_i; -\sin \alpha_i \cos \theta_i; a_i \sin \theta_i \\ 0; \sin \alpha_i; \cos \alpha_i; d_i \\ 0; 0; 0; 1 \end{bmatrix} \overline{O_4M}$$

3.2 Розробка моделі для системи керування приводом пальців у структурі захоплювача мобільного робота

Для формування математичної моделі керування приводом пальців у структурі захоплювача мобільного робота було виокремлено і показано один із можливих варіантів реалізації приводу пальців захвату [28].

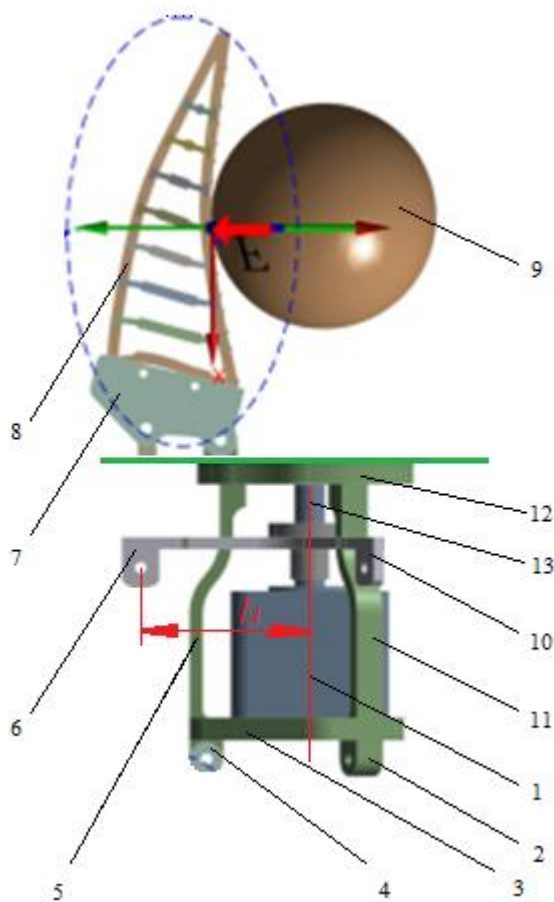


Рисунок 3.4 – Схематичне зображення приводу пружного елемента пальця захвату [28].

На рисунку 3.4 представлено електропривод 1 пальців захоплювача, схему якого подано у розділі 2.2. Цей привод 1 як у більшості приводів малої потужності виконано у єдиному корпусі з редуктором. Його закріплено до корпусу 2, який у свою чергу передбачає елементи кріплення 2 та 4 та каркасні стійки 5 та 11, які з'єднано із диском 12. Вихідний вал 13 встановлено у опорно-упорний вузол диску 12, що зменшує бій від навантаження, а значить покращує умови роботи двигуна та редуктора 1. Тяги 6 та 10 містять отвори для кріплення тросиків для деформації пружних елементів пальців. Показано тільки елемент одного пальця 8, який закріплено на планці 7. У наслідок переміщення тяги 6 деформується елемент пальця. Всі пружні елементи деформуються ідентично до тіла 9, що потрібно затискати. Таким чином, для побудови

математичної моделі для системи керування приводом пальців у структурі захоплювача мобільного робота необхідно зв'язати переміщення точки пружного елемента із кутом повороту валу двигуна, яка у свою чергу визначається законом зміни поданої напруги на обмотки двигуна.

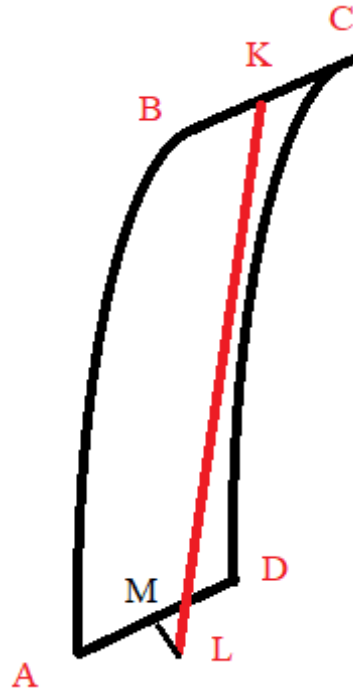


Рисунок 3.5 – Схематичне зображення приводу пружного елемента пальця захвату [28].

Таку задачу розіб'ємо на декілька задач, перша з яких задача про деформацію пружної пластини довільної форми, що виготовлено із матеріалу еластоміру з нелінійною залежністю механічної напруги від відносної деформації.

Друга задача про переміщення тросу при заданій деформації пружного елемента. Третя про величину сили, що спричинила задану деформацію. Четверта про зв'язок між лінійним переміщенням точки кріплення тросика до еластичного елемента та кутом повороту валу двигуна. Для побудови розрахункової схеми та створення на її основі математичної моделі виокремимо окремий палець. На рисунку 3.5 подано вид збоку та на поверхню контакту з об'єктом захоплення такого пальця.

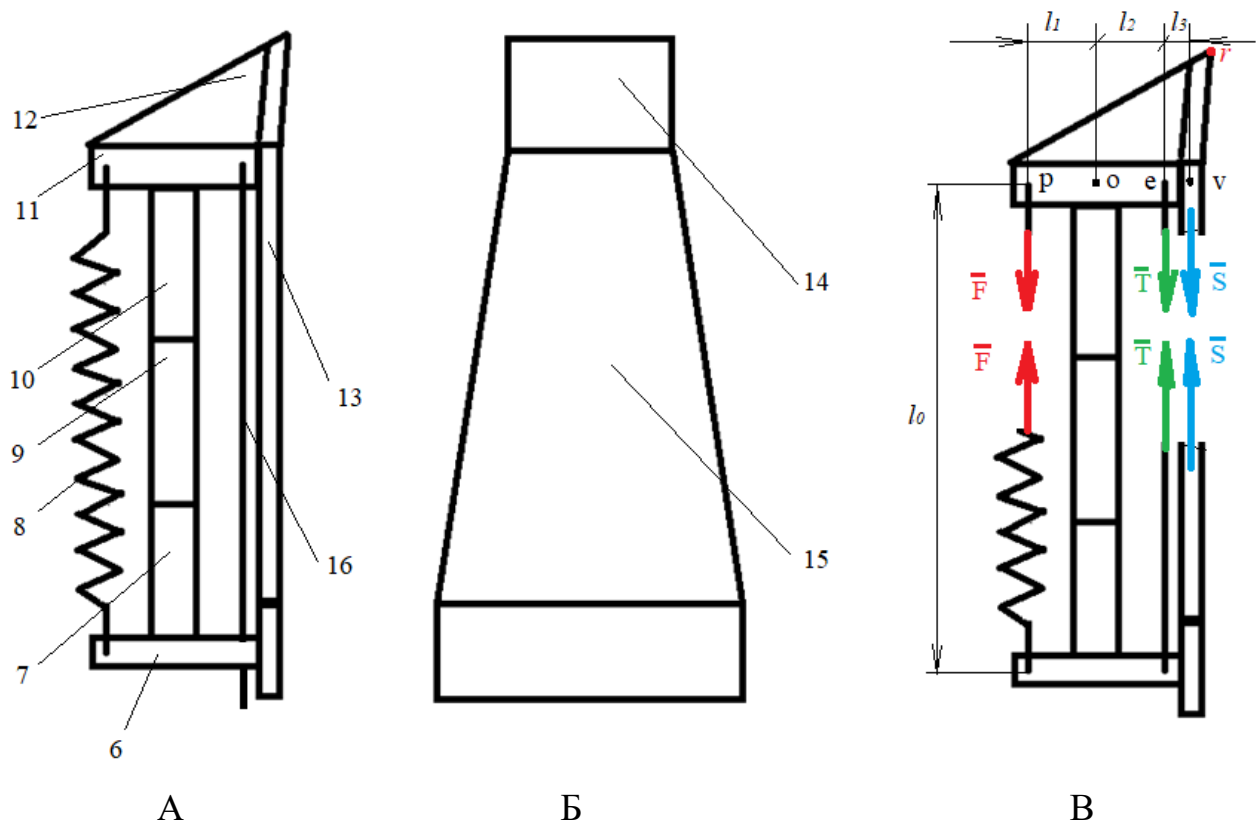


Рисунок 3.6 – Схематичне зображення окремого пальця захвату та розрахункової схеми [28]: А – вид з боку на окремий палець захвату; Б – вид з переду на палець захвату; В – розрахункова схема для будови математичної моделі.

Розриваючи пружину 8 канат 16 та пружний еластомірний елемент 15 замінимо їх дію відповідними векторами сил $\bar{F}$, $\bar{T}$ та $\bar{S}$ відповідно. Позначимо поворот навколо точки о, що здійснює планка 11 у наслідок сили тяги $\bar{T}$, яку розвиває тросик 16. Припустимо, що планка 11 і не деформується, складемо умову рівноваги моментів сил та запишемо:

$$\bar{F}l_1 - \bar{T}l_2 - \bar{S}l_3 = 0.$$

Якщо позначити жорсткість пружини 8 k_1 та припустити, що вона не змінна, а жорсткість еластомірного елемента 15 позначати k_2 та теж припускати, що вона незмінна, тоді рівняння рівноваги моментів перепишемо та знайдемо силу тяги $\bar{T}$:

$$\begin{aligned}
 & -\beta k_1 l_1^2 + \bar{T} l_2 - k_2 (l_2 + l_3) l_3 = 0; \\
 & \bar{T} = \frac{\beta (k_1 l_1^2 + k_2 (l_2 + l_3) l_3)}{l_2}.
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Крім того точка v переміститься на величину кута повороту планки 11 β :

$$\beta = \frac{T l_2}{k_1 l_1^2 + k_2 (l_2 + l_3) l_3},
 \tag{2}$$

а тросик 16 повинен буде зміститись на величину Δl_3 що розрахується за виразом:

$$\Delta l_2 = \beta l_2 = \frac{T l_2^2}{k_1 l_1^2 + k_2 (l_2 + l_3) l_3}.
 \tag{3}$$

Для завершення процесу формування моделі доповнимо рівняння кута повороту та сили натягу переміщенням крайньої точки r пальця захоплювача радіально до осі захоплювача Δx та вертикально Δy :

$$\begin{aligned}
 \Delta x &= l_{or} \cos(\alpha_1 - \beta) - l_{or} \cos \alpha_1; \\
 \Delta y &= l_{or} \sin(\alpha_1 - \beta) - l_{or} \sin \alpha_1,
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

де α_1 - кут між проміннями ov та or , а l_{or} - довжина відрізка or .

Така сукупність рівнянь зв'язку, що отримана також дозволяє визначати обмеження на габарити об'єкту захоплення. Введемо характерний розмір плоду D_{max} та D_{min} , тоді на підставі загальної схеми захоплювача (рис. 2.2) та позначень (рис. 3.6) для двопалого захоплювача визначимо:

$$\begin{aligned}
 D_{max} &= \min \{ 2(R_0 - l_{r0} \cos \alpha_1) + \delta; (l_0 + \delta) \}; \\
 D_{min} &= 2(R_0 - l_{r0} \cos \alpha_1 - l_{or} \cos(\alpha_1 - \beta) - l_{or} \cos \alpha_1),
 \end{aligned}$$

де R_0 - відстань між віссю пальця та віссю захоплювача, а δ - технологічний зазор, що визначається точністю позиціонування захоплювача.

Таким чином, побудовано модель (1)-(4), що визначає зв'язок між силою натягу, величиною кута повороту планки та переміщення пальця захоплювача. Її сукупне застосування із моделлю руху моделями руху тяг 6 та 10 замкне систему опису приводу захвату.

3.3 Синтез траєкторії руху захоплювача

Пошук законів руху, що забезпечуватимуть потрібне позиціонування захоплювача, яке визначається системою керування роботою, на підставі виокремлених зображень, приводить до необхідності реалізації двох законів: рівноприскорених та гармонічних. Застосування рівноприскореного закону руху характеризується мінімально можливими при даній тривалості інтервалів розгону та гальмування значення прискорень. Останнє обумовлює і мінімальні величини сил інерції у відносному русі однієї ланки по відношенню до другої. Однак, це не виключає так звані «м'які» удари, що пов'язано із стрибками у зазначені моменти часу інерційних впливів. При русі i -ї ланки щодо $(i-1)$ -ої за прямокутним законом (рис. 3.7).

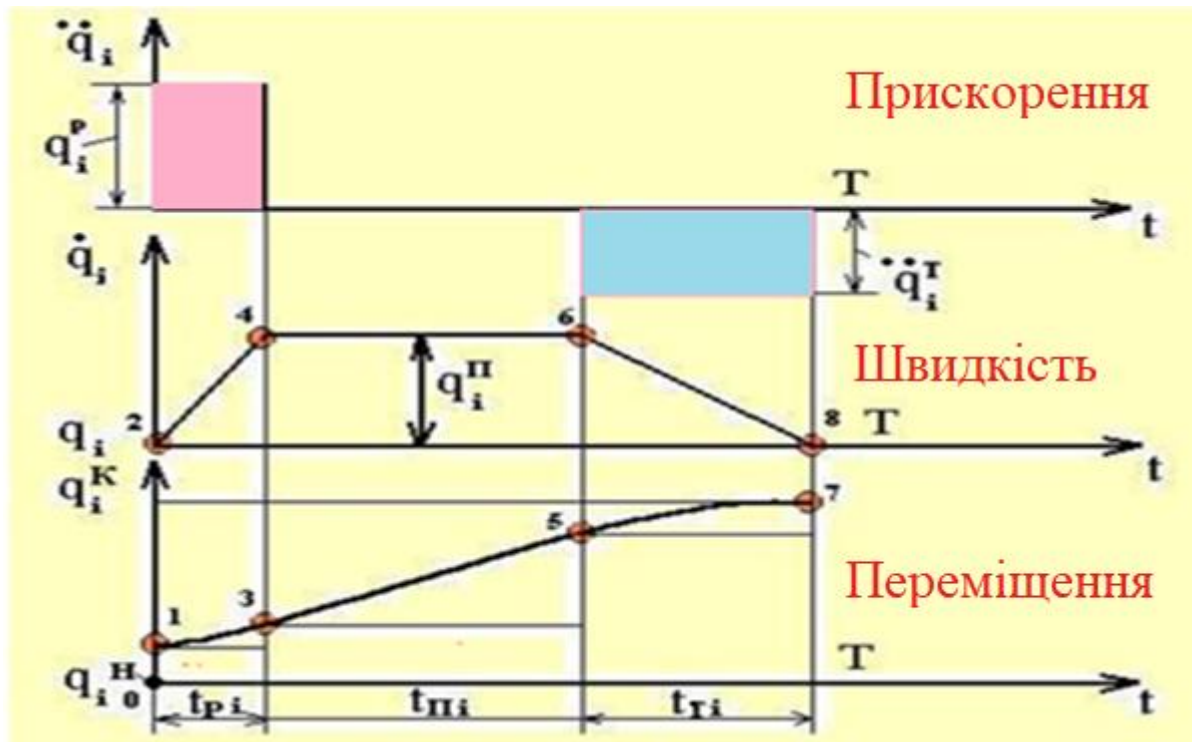


Рисунок 3.7 – Закон рівноприскореного (прямокутний графік) руху

i -та ланка на інтервалі t_p розганяється під дією зусилля, що додається та у наслідок дії якого розвивається постійне прискорення. При досягненні необхідної швидкості прискорення набуває значення 0, а привод здійснює

роботу проти сил тертя. На інтервалі гальмування працює гальмо, яке розвиває силовий вплив і забезпечує негативне прискорення. Тривалість інтервалів розгону t_{pi} , руху з постійною швидкістю t_{Pi} та гальмування t_{Gi} пов'язані залежністю

$$\ddot{q}_i^p t_{pi} = \ddot{q}_i^r t_{Gi} \text{ або } \ddot{q}_i^r = \ddot{q}_i^p \frac{t_{pi}}{t_{Gi}}, \quad (5)$$

де T - заданий час руху від початкової точки до кінцевої.

При обраних довжинах тривалості інтервалів розгону та гальмування необхідно знайти таку величину прискорення $\ddot{q}_i^p$, щоб i -та ланка за заданий час T перемістилася з початкової точки в кінцеву, тобто пройшла заданий шлях q_i . За графіком переміщення i -ої ланки (рис. 3.7) можна записати рівняння зв'язку:

$$0,5\ddot{q}_i^p t_{pi} + \ddot{q}_i^p t_{pi} t_{Gi} + 0,5\ddot{q}_i^r t_{Gi} = q_i^k - q_i^h; \quad i = \overline{1, n}.$$

Останнє з урахуванням рівності робіт на розгон та гальмування (5) знайдемо прискорення:

$$\ddot{q}_i^p = \frac{2(q_i^k - q_i^h)}{t_{pi}(t_{pi} + 2t_{Pi} + t_{Gi})}; \quad i = \overline{1, n}. \quad (6)$$

Таким чином, довільно можна призначати лише тривалості двох інтервалів, наприклад: t_{pi} і t_{Gi} . Для забезпечення найбільшої швидкодії робота слід прийняти $t_{pi} = t_{Gi} = 0,5T_i$. Тоді першу половину інтервалу T рух i -ої ланки прискорений, тоді як у другому проміжку часу здійснюється гальмування. Після визначення узагальнених прискорень за (6) за відомими залежностями можна визначити узагальнені швидкості $\dot{q}_i$ та узагальнені координати q_i для i -ої ланки у будь яку мить. За аналогією можна синтезувати рух пальців захоплювача.

3.4 Математична модель роботи захоплювача

Для будови математичної моделі динаміки захоплювача введемо закон вхідного сигналу $U(t)$, що необхідно синтезувати та припустимо, що відомо

вираз передатної функції приводу пальців рис. 3.4 позиція 1, тоді зображення перехідного процесу подаймо у формі:

$$L(\alpha) = W(p)X(p) = W(p)\tilde{X}.$$

Таким чином, для розв'язку цієї задачі, було введено вхідний сигнал стовбчастого імпульсу. Цей сигнал стартує у момент часу t_1 та припиняє свою дію у момент часу t_2 . Якщо його представити функцією Гевісайта:

$$U(t) = U_0 [\eta(t - t_1) - \eta(t - t_2)],$$

То його перетворення Лапласа запишемо:

$$\begin{aligned} L(U(t)) &= U_0 L[\eta(t - t_1) - \eta(t - t_2)] = U_0 e^{-pt_1} \frac{1}{p} - U_0 e^{-pt_2} \frac{1}{p} = \\ U_0 \left(e^{-pt_1} \frac{1}{p} - e^{-pt_2} \frac{1}{p} \right) &= \frac{U_0 e^{-pt_1}}{p} [1 - e^{-p(t_2 - t_1)}]. \end{aligned}$$

Далі, для безколекторного двигуна постійного струму та ротором, у виді постійних магнітів, побудуємо модель у вигляді системи рівнянь. Перше з них запишемо для контуру обмотки статора скориставшись другим правилом Кірхгофа. Друге побудуємо для ротора двигуна скориставшись головним законом механіки для обертального руху. Третє рівняння моменту сил у наслідок взаємодії магнітного поля ротора та магнітного поля котушок статора із струмом i . Таким чином, динаміка такого двигуна описується системою рівнянь:

$$\begin{cases} u(t) = L \frac{di}{dt} + iR + K_\omega \dot{\alpha}(t); \\ M_g = J \ddot{\alpha}(t) + \frac{\rho C_m S_i R_i^{n+1}}{2} \dot{\alpha}^n(t) + M_{зov} + M_{стер}; \\ M_g = K_M i(t), \end{cases} \quad (7)$$

З урахуванням позначень зображень перетворень Лапласа хвилястою рисою над величиною та його застосування до рівнянь запишемо:

$$\begin{cases} \tilde{u} = Lp\tilde{i} + R\tilde{i} + K_{\omega}p\tilde{\alpha}; \\ K_M\tilde{i} = Jp^2\tilde{\alpha} + K_{\text{втер}}p\tilde{\alpha} + \tilde{M}_{\text{зоб}} + \tilde{M}_{\text{смер}}; \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} W(p) &= \frac{\tilde{\alpha}}{\tilde{u}} = \frac{K_M i_p \tilde{i}(t) + \tilde{M}_{\text{зоб}} + \tilde{M}_{\text{смер}}}{(Jp^2 + K_{\text{втер}}p)(Lp\tilde{i}(t) + R\tilde{i}(t) + K_{\omega}p\tilde{\alpha}(t))} = \\ &= \frac{(K_M i_p \tilde{i}(t) + \tilde{M}_{\text{зоб}} + \tilde{M}_{\text{смер}})(Jp + K_{\text{втер}})}{(Jp^2 + K_{\text{втер}}p)\{(Jp + K_{\text{втер}})[Lp\tilde{i}(t) + R\tilde{i}(t)] + K_{\omega}[K_M i_p \tilde{i}(t) + \tilde{M}_{\text{зоб}} + \tilde{M}_{\text{смер}}]\}} = \\ &= \frac{(K_M \tilde{i}(t) + \tilde{M}_{\text{зоб}} + \tilde{M}_{\text{смер}})}{p\{(Jp + K_{\text{втер}})[Lp\tilde{i}(t) + R\tilde{i}(t)] + K_{\omega}[K_M i_p \tilde{i}(t) + \tilde{M}_{\text{зоб}} + \tilde{M}_{\text{смер}}]\}}. \end{aligned}$$

Зображення кута повороту вихідного валу приводу отримаємо:

$$\begin{aligned} L(\alpha) &= W(p)X(p) = \\ &= \frac{(K_M i_p \tilde{i}(t) + \tilde{M}_{\text{зоб}} + \tilde{M}_{\text{смер}})(Jp + K_{\text{втер}})U_0 e^{-pt_1}[1 - e^{-p(t_2-t_1)}]}{p(Jp^2 + K_{\text{втер}}p)\{(Jp + K_{\text{втер}})[Lp\tilde{i}(t) + R\tilde{i}(t)] + K_{\omega}[K_M i_p \tilde{i}(t) + \tilde{M}_{\text{зоб}} + \tilde{M}_{\text{смер}}]\}} \end{aligned}$$

Якщо припустити, $M_{\text{зоб}} = M_{\text{смер}} = 0$, то система (7) і її передавальна функція суттєво спроститься:

$$L(\alpha) = \frac{K_M i_p U_0 e^{-pt_1}[1 - e^{-p(t_2-t_1)}]}{p^2[(Jp + K_{\text{втер}})(Lp + R) + K_M K_{\omega} i_p]} \quad (9)$$

Відповідно до рис. 3.6. та моделі (1) – (4) доповнимо систему (7) наступними рівняннями кута повороту планки (11) β сили натягу тросику T та моменту сил, що розвивають тяги 6 і 10 довжиною l_4 завдяки редуктору приводу з передатним відношенням i_p :

$$\begin{cases} \beta = \frac{Tl_2}{k_1 l_1^2 + k_2(l_2 + l_3)l_3}; \\ \beta l_2 = \alpha l_4; \\ Tl_4 = i_p M_g = i_p K_M i. \end{cases} \quad (10)$$

Застосовуючи перетворення Лапласа з урахуванням зображення перехідного процесу (9) для кута повороту привода α маємо зображення кута згину планки β пальця захоплювача та знайдемо переміщення пальця захоплювача:

$$\Delta x = l_{or} \cos \left(\alpha_1 - \alpha \frac{l_4}{l_2} \right) - l_{or} \cos \alpha_1. \quad (11)$$

Таким чином, якщо позначити чисельник дробу $A(p)$ а знаменник $B(p)$ та припустити, що знаменник зображення (9) має тільки прості корені p_k , то відповідно до другої теореми розкладання оригіналом буде:

$$\alpha(t) = \sum_{k=1}^n \frac{A(p_k)}{B'(p_k)} \cdot e^{p_k t} \quad (12)$$

Таким чином, побудовано аналітичні моделі руху пальців захоплювача (9) - (12) збору плодів фруктів та овочів з електричним приводом.

3.5 Розробка систем керування пристроями та приводами у структурі АСК

Головним принципом для створення ефективної автоматизованої системи керування пристроями, що будуть входити до складу засобів безлюдних технологій збору врожаю є: передбачати інтеграцію апаратної та програмної частин для забезпечення точного, стабільного та надійного функціонування виконавчих механізмів. У зв'язку з цим до складу узагальненої структури АСК, що розробляється в рамках даного проєкту, обов'язково увійдуть основними об'єктами керування наступні елементи: мобільна платформа та маніпуляторний модуль із захоплювачем. Єдиним типом приводу, що застосовано у проєкті взято електричний привод (електро двигун із редуктором) та механізм тросикових тяг, який теж приводиться електроприводом.

Для керування автоматизованою системою збору врожаю в цілому

здійснюватиметься за принципом координованої роботи окремих систем керування. Таким чином керування мобільною платформою полягає у визначенні й реалізації траєкторій руху в просторі теплиці або вертикальної ферми. Механічна частина платформи побудована на незалежному колісному приводі. Електроприводи обираються з урахуванням тягових характеристик, необхідної швидкості та часу автономної роботи. Для цих цілей оптимально підходять щіткові або безщіткові двигуни постійного струму з вбудованими енкодерами для зворотного зв'язку по обертах, що дозволяє реалізовувати замкнене керування за швидкістю й положенням.

Система керування включає мікроконтролер або вбудований комп'ютер (наприклад Arduino Mega або в комбінації з модулем Jetson Nano), на якому реалізується програмна логіка руху робота. Основу структури алгоритмів роботи становлять алгоритми керування із попереднє синтезованим ПІД-регуляторами. Останні здатні забезпечувати плавне керування, наприклад, швидкістю обертання коліс, що у свою чергу забезпечить підтримку курсу, корекцію відхилень, а також уникнення зіткнень. Візуальна інформація, що отриманна з камери та дані з БПЛА дозволяють будувати карту середовища та планувати траєкторії руху в реальному часі.

Особливу увагу в даному проєкті приділено модулю захоплювача маніпулятора з набором декількох м'яких пальців (рис. 3.6). Головною особливістю конструкції, яку розроблено є забезпечення охоплення м'якими оболонками, що забезпечує електродвигун з редуктором, шляхом передачі обертальноного моменту на гнучкі тросикові тяги. Останні створюють тягові сили, які у ітозі забезпечують відкривання і закривання захоплювального механізму. Така конструкція дозволяє зменшити масу кінцевого виконавчого елемента, перемістивши важчі частини приводу (двигун і редуктор) ближче до основи маніпулятора. Це знижує навантаження на приводи самого маніпулятора, підвищує динамічну стійкість системи та як наслідок зменшує енерговитрати.

Для забезпечення міцності та витривалості тросикові тяги виготовляються зі сталевого або кевларового тросу, що проходить через направляючі ролики та змотуються на котушку барабану. Барабан у свою чергу приводиться електричним двигуном через редуктор. Завдяки високому передавальному числу редуктора досягається прецезійне регулювання сили стиснення, що критично важливо для збору делікатних плодів без їх пошкодження. Зворотній зв'язок у системі забезпечується через лінійні датчики положення або енкодери, встановлені на осі редуктора, що дозволяє точно визначити ступінь відкриття захоплювача.

Програмна реалізація керування маніпулятором може здійснюватись за допомогою платформи ROS 2, яка забезпечує модульну побудову системи. Кожен привід працює як окремий ROS-вузол, який приймає команди з центрального контролера, виконує їх та надсилає зворотний зв'язок. Команди генеруються на основі аналізу зображення плоду, отриманого з камери, та розрахунку позиції для маніпуляції. Керування рухами маніпулятора відбувається за заздалегідь побудованими траєкторіями, з урахуванням зворотного зв'язку для компенсації похибок і вібрацій.

Система керування захоплювачем повинна передбачати також програмні обмеження зусилля захоплення на основі типу плоду: для цього в обчислювальному ядрі зберігається база характеристик, яка дозволяє адаптувати зусилля захвату в залежності від розпізнаного фрукта або овочів. Таким чином, наприклад, яблуко потребуватиме іншого зусилля порівняно з малиною або виноградом. Це реалізується шляхом програмного регулювання напруги, що подається на привід через ШІМ-модулювання, а також керування тривалістю обертання двигуна.

Наразі, при розробці використано мову програмування Arduino, оскільки головним фокусом в роботі було налаштування роботи захоплювача із використанням безщіткового мотору постійного струму. Приклад програми наведено в ДОДАТКУ А.

3.6 Застосування середовищ для моделювання динаміки та синтезу регуляторів

На етапі розробки автоматизованої системи збору врожаю, до складу якої залучено безлюдні технології, критично важливо забезпечити точне та надійне функціонування всіх її складових — від приводу маніпулятора до логіки контролера руху. Для розв'язку такого типу задач використовуються сучасні середовища моделювання та симуляції, які дозволяють на етапі проєктування виявити недоліки конструкції, визначати оптимальні параметри регулятора та синтезувати керуючі впливи та реалізувати керування підсистемами.

Для дослідження різних підсистем керування проєкту було поставлено і розв'язано задачу точного та плавного керування зусиллям, що створюють пальці захоплювача. Для її розв'язку було проведено синтез ПД-регулятора, на підставі даних про положення пальців захоплювача від енкодера. У моделі передбачено можливість зміни параметрів маси, інерції та жорсткості системи, що дозволило адаптувати регулятор під різні сценарії. Так наприклад, застосування для збору твердих фруктів (яблук) або м'яких (помідорів). За результатами моделювання встановлено, що регулятор із коефіцієнтами, отриманими за методом незгасаючих коливань (метод Зіглера – Нікольса), демонструє найкращий компроміс між швидкістю реакції та відсутністю потреби у переналадженні. На рисунку 3.8 зображено графік взаємозв'язку між нульовою точкою датчика та фазою напруг на обмотці двигуна при русі.

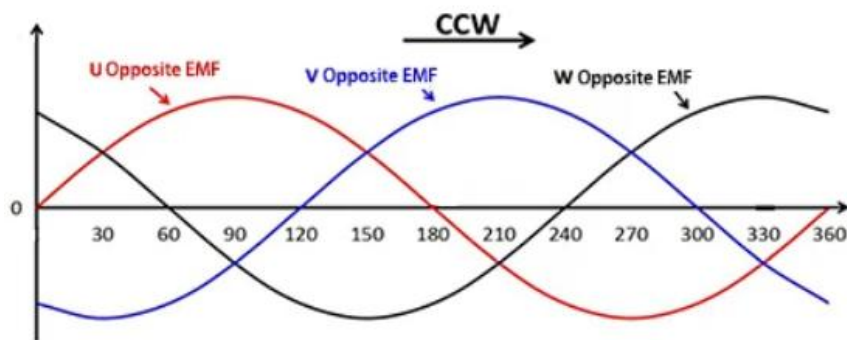


Рисунок 3.8 – Графік взаємозв'язку між нульовою точкою датчика та фазою двигуна

На графіку рисунку 3.8 відображено рух проти годинникової стрілки. Тут введено кольорові позначення: червоним (U) на графіку відображається протидіюча електрорушійна сила першої обмотки статора; синім (V) відображається друга обмотки статора; чорним (W) третя обмотка статора. Динаміку залежності швидкості руху двигуна від моменту сил, який керує захватом подано на рисунку 3.9. Швидкісна характеристика двигуна відображає зони стрімко-подібного зростання та незмінного моменту сил (рис. 3.9).

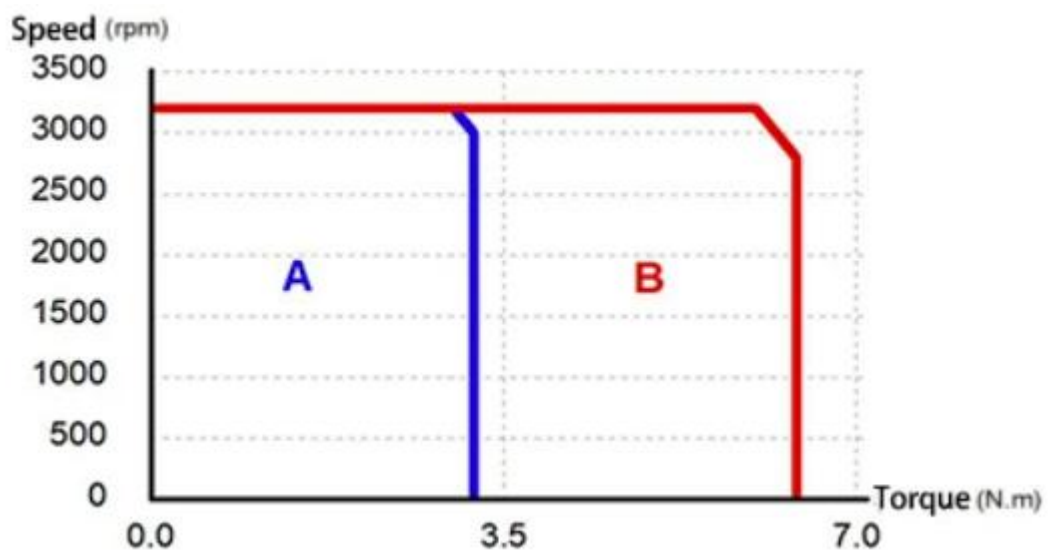


Рисунок 3.9 – Графік швидкісної характеристики двигуна: А – зона безперервної роботи; В – зона переривчастої роботи.

Для практичної реалізації системи керування двигуном суттєву роль відіграє захист двигуна від перегріву, що викликано перевантаженням двигуна. Важливою для розробки і реалізації алгоритму захисту відіграє характеристика перевантаження, її подано для безщіткового двигуна постійного струму зображену на рисунку 3.10.

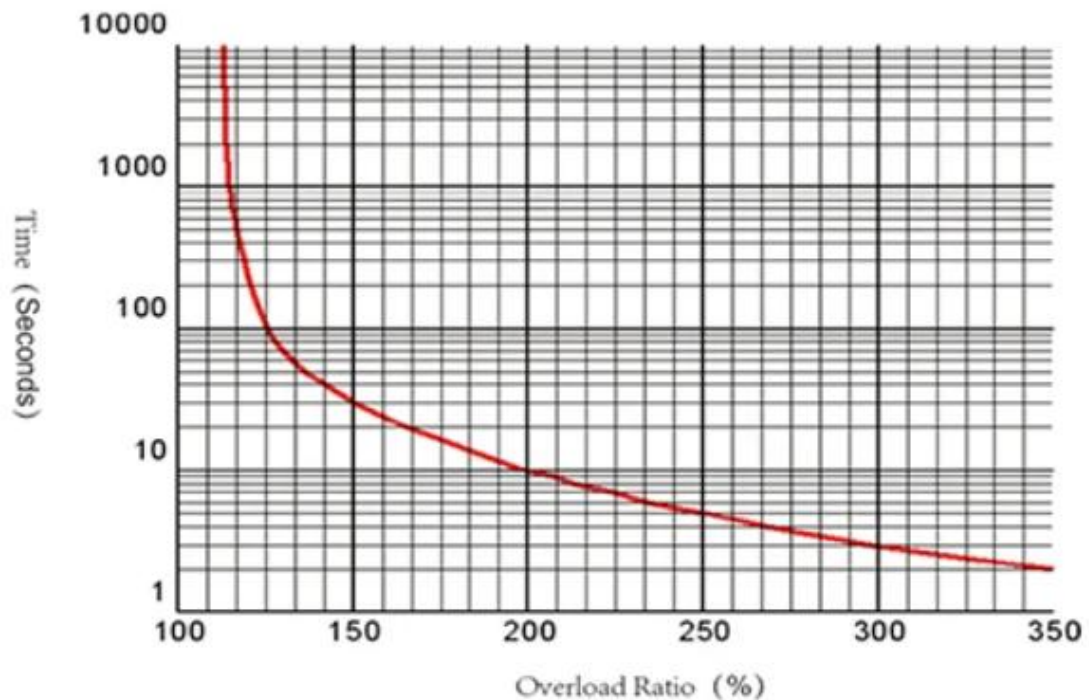


Рисунок 3.10 – Графік характеристики перевантаження двигуна.

На графіку зображено залежність допустимого часу перевантаження (в секундах) від величини відношення коефіцієнту перенавантаження (відсотки). Для уникнення перевантажень та забезпечення ефективної роботи було застосовано ПІД-регулятор (пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор) відіграє ключову роль в автоматичному управлінні, дозволяючи підтримувати задане кутове положення тяг тросиків захоплювача із потрібним зусиллям та визначений проміжок часу. Оскільки налаштування параметрів ПІД-регулятора – це критично важливий етап для досягнення високої точності та стабільності в системі автоматичного контролю стану пальців захоплювача, проведемо детальну розробку середовища Matlab. Створимо систему, яка забезпечить моделювання та дослідження і дозволить регулювати швидкість двигуна постійного струму. Для таких задач зберемо у середовищі Matlab інструментами Simulink систему регулювання швидкості при наявності ПІД регулятора [28]. Графічне відображення результату будови такої моделі представлено на рисунку 3.11.

Більшість двигунів приводів при своїй роботі потребує регулювання за силою струму кутовій швидкості та куту повороту. У зв'язку з цим дослідимо роботу із різними системами зворотного зв'язку. На рисунку 3.12 представлено модель двигуна постійного струму з двома додатковими підсистемами регулювання струму. Детальне вивчення роботи зворотного зв'язку по величині сили струму, що протікає в обмотці якоря подано на рисунку 3.13. Детальне вивчення процесів у системі зворотного зв'язку за величиною напруги на обмотці подано на рисунку 3.14.

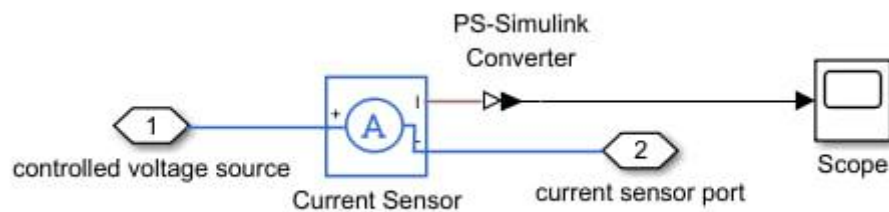


Рисунок 3.13 – Створення системи регулювання струму

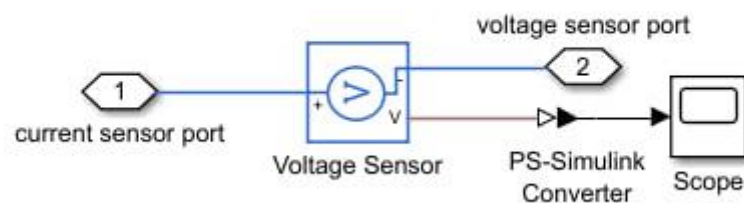


Рисунок 3.14 – Створення системи регулювання напруги

Системи зображені на рисунку 3.13 та 3.14 складаються з джерела струму та джерела напруги відповідно. Для візуалізації залежних від поточного часу процесів та інших величин застосовано осцилограф.

Для правильного обліку навантаження перейдемо до підсистеми, що дозволять моделювати процеси навантаження. Таку схему, що утворено інструментами Simulink подано на рисунку 3.15.

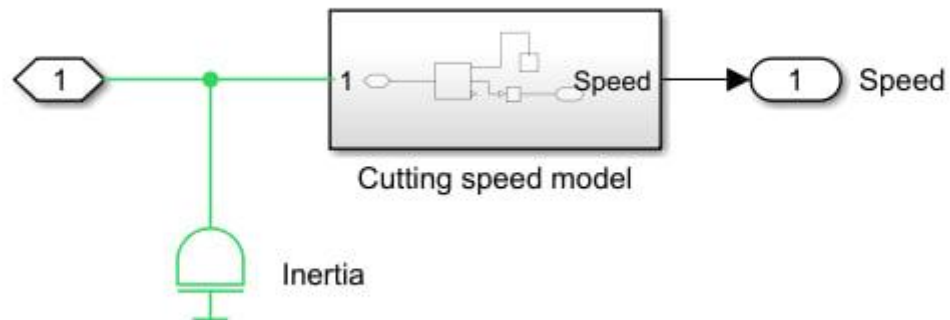


Рисунок 3.15 – Модель системи навантаження

Модель системи навантаження, що зображено на рисунку 3.15 складається з інерційного навантаження та підсистеми, що моделює процеси зміни кутової швидкості у часі (рисунок 3.16).

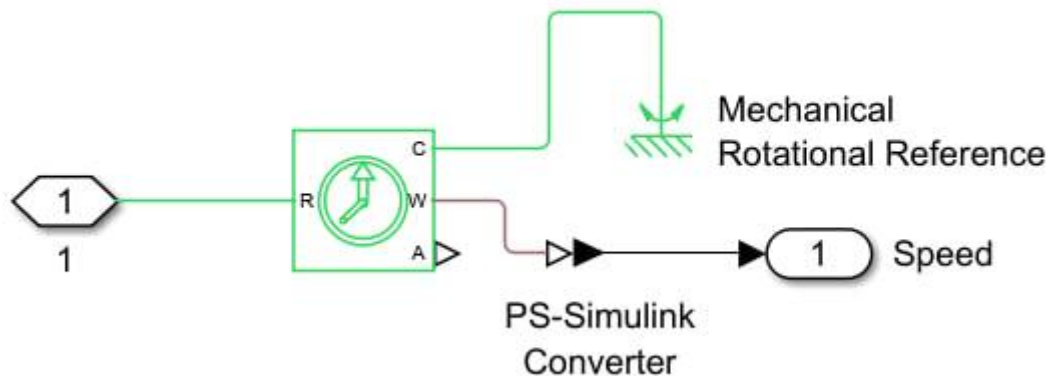


Рисунок 3.16 – Модель кутової швидкості

Застосування датчику кутової швидкості із вбудованим перетворювачем вихідного сигналу утворює підсистему для вимірювання кутової швидкості, як систему зворотного зв'язку по кутовій швидкості.

Проведена підготовка утворила систему для моделювання та дослідження у середовищі Matlab інструментами Simulink.

Запускаємо систему та перевіряємо коректність її роботи для заданого одиничного імпульсу.

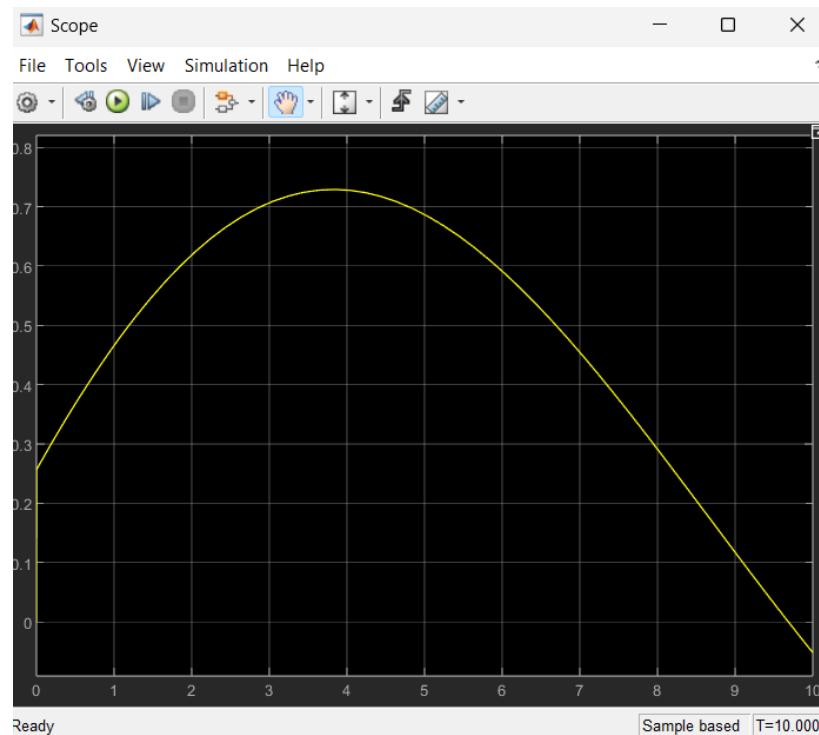


Рисунок 3.17 – Графік зміни струму якоря

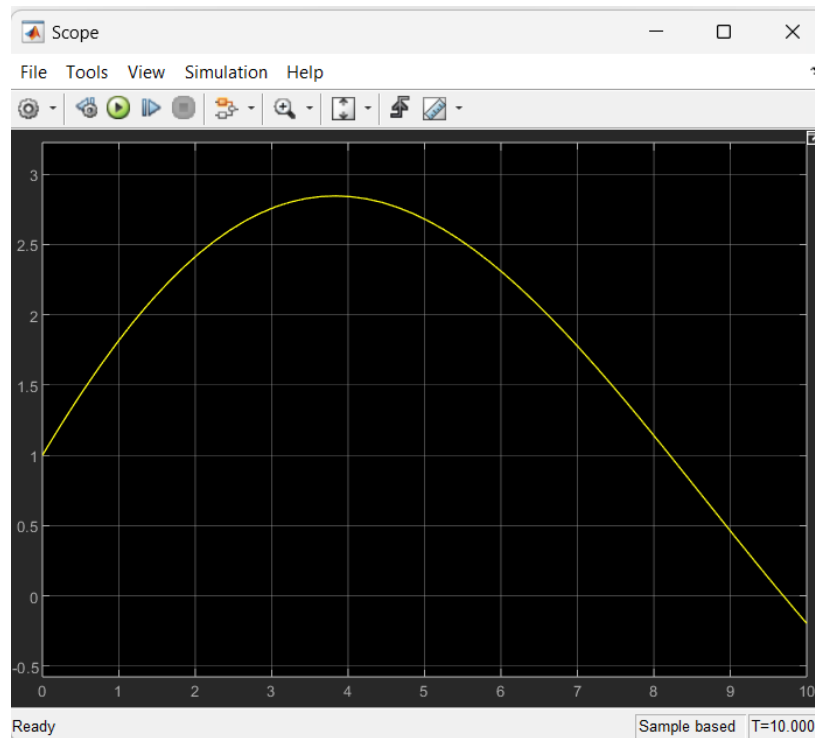


Рисунок 3.18 – Графік зміни напруги якоря

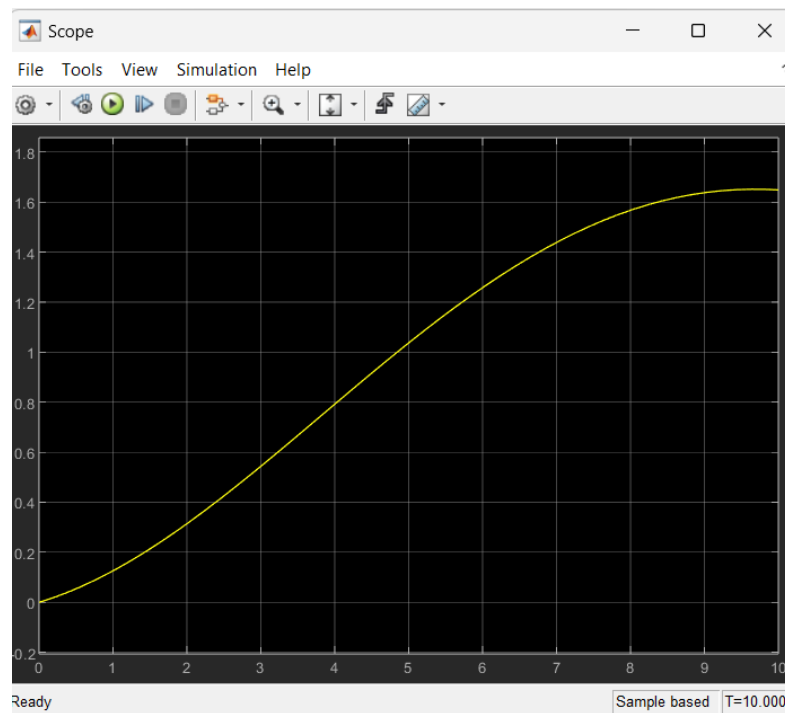


Рисунок 3.19 – Графік зміни кутової швидкості

На рисунку 3.17 показано тестову криву, що подає залежність зміни струму якоря в часі. Якісний аналіз підтверджує якісно очікувані реакції. Струм

якоря у пусковий проміжок часу зростає, на його величину впливає момент інерції [30]. При цьому максимальний струм досягається, коли двигун досягає своєї робочої швидкості.

Зменшення струму до нуля засвідчує, що система досягла рівноваги, що до кінця симуляції система досягає стану рівноваги аналогічний результат буде спостерігатись коли систему вимикає захист по струму ну і якщо двигун просто вимикається.

Графік, що зображено на рисунку 3.18 показує зміну напруги на якорі двигуна як функцію часу.

Напруга на якорі збільшується у момент запуску та пусковий проміжок часу, що зумовлено інерційними властивостями ротора та моментом сил тертя.

Максимальна напруга відповідає періоду найбільшого прискорення двигуна.

Графік, що зображено на рисунку 3.19 показує зміну кутової швидкості двигуна в часі. Кутова швидкість зростає і стабілізується на певному значенні.

Опосередковано початкове зростання кутової швидкості свідчить про прискорення двигуна під дією вхідної напруги та струму.

Стабілізація кутової швидкості на певному рівні вказує на досягнення робочого режиму двигуна, де момент, що обертає ротор двигуна урівноважується механічним навантаженням та силами тертя.

Підсумовуючи, можна сказати, що результати симуляції відображають динамічні процеси запуску та стабілізації двигуна постійного струму. Такі результати, надали якісну відповідність із результатами роботи [30], що дозволяє стверджувати про придатність створеної моделі для дослідження приводу пальців захоплювача конструкції, що розроблено.

Після отриманих результатів перейдемо до синтезу параметрів ПІД-регулятора для забезпечення стабільної роботи системи та точного відстеження за цільовими параметрами, що характеризують перехідні процеси.

Подвійним кліком лівої клавіші по блоку PID відкривається меню налаштувань його параметрів.

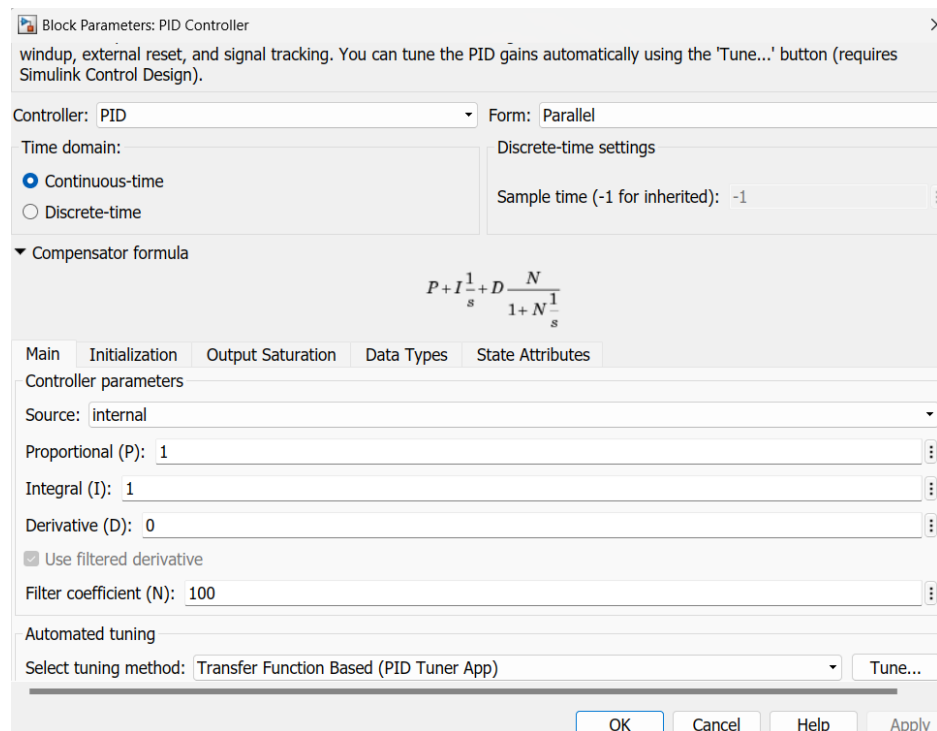


Рисунок 3.20 – Початкові параметри PID – регулятора

Перш за все для забезпечення коректності роботи перейдемо до режиму встановлення обмежень та проведемо їх встановлення обмеження на допустимі значення напруги.

Проводимо наступні дії: переходимо до вкладки Output Saturation ініціалізуємо її та встановлюємо крок за кроком набираючи відповідні значення +- 24 В, як це вже виконане на рисунку 3.21.

Застосування безлюдних технологій для збору врожаю в умовах зелених ферм

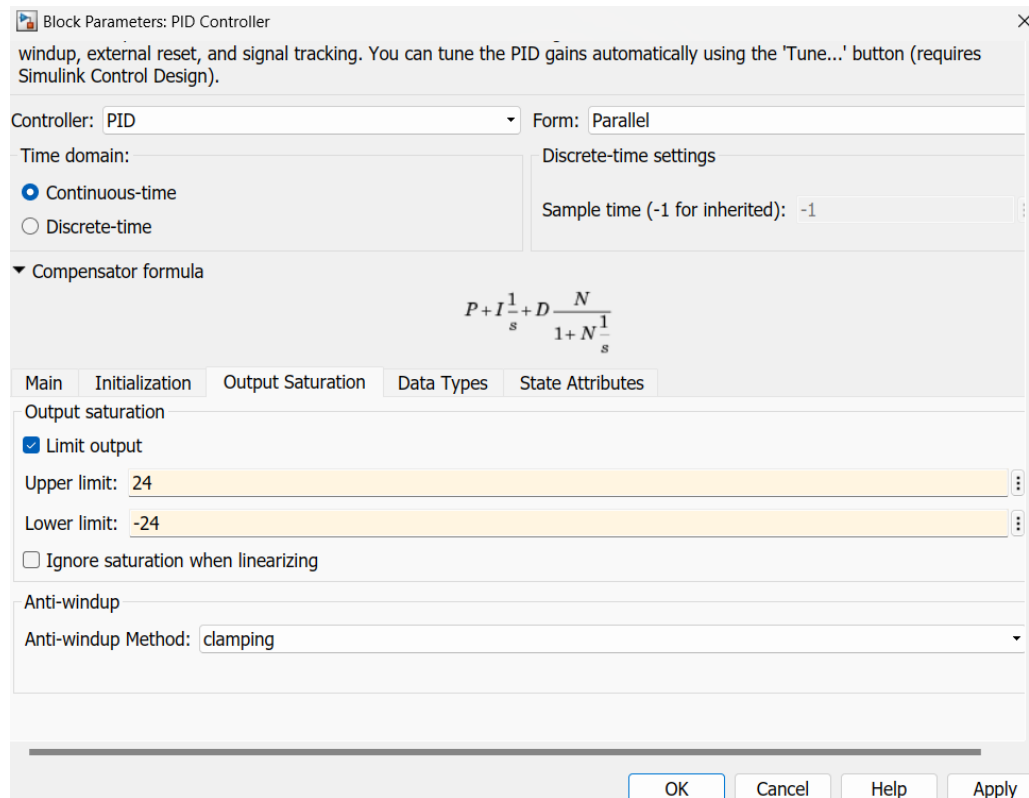


Рисунок 3.21 – Встановлені обмеження напруги

Наступний крок повернення до початкового меню параметрів PID - регулятора та переходимо до вкладки Tune та ініціалізуємо її, що забезпечує перерегулювання параметрів.

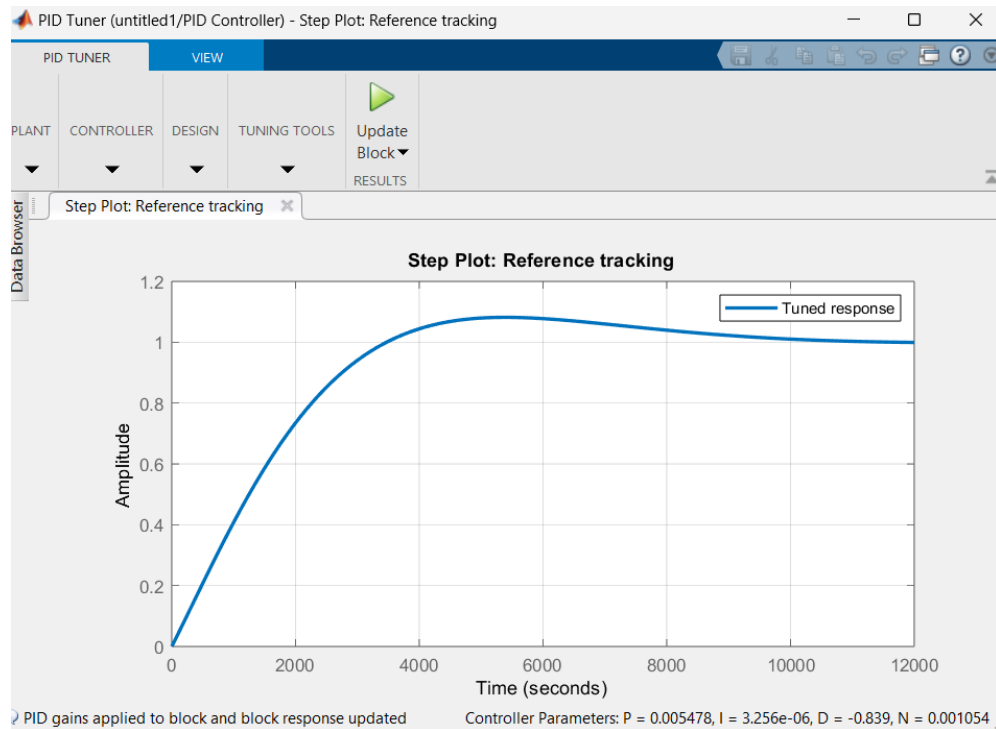


Рисунок 3.22 – Вкладка Tune

Натиск на кнопку Update Block автоматично приводить систему у режим коли система автоматично підбере коефіцієнти PID - регулятора, у відповідності від заданих параметрів. Для перегляду нові значення величин оновлених коефіцієнтів переходимо до вкладки Show Parameters, що знаходиться в меню Tuning Tools.

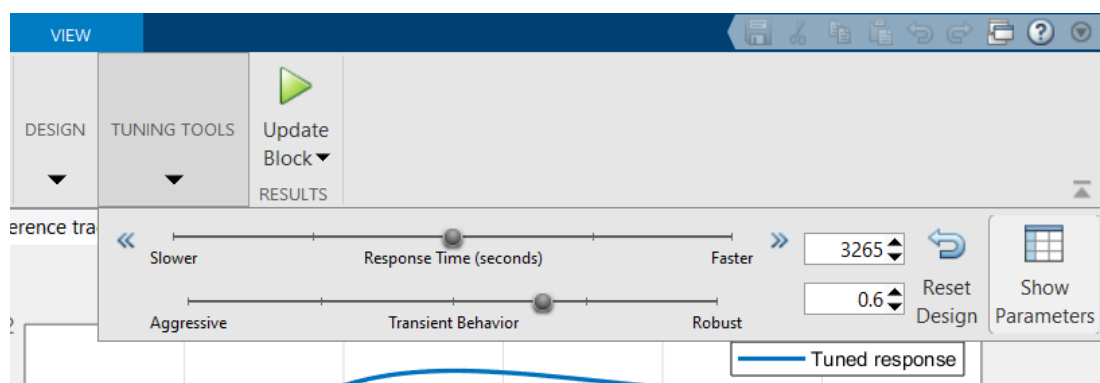


Рисунок 3.23 – Процес отримання даних коефіцієнтів перерегулювання

Controller Parameters	
	Tuned
P	0.0054776
I	3.2557e-06
D	-0.83904
N	0.0010537
Performance and Robustness	
	Tuned
Rise time	2.51e+03 seconds
Settling time	9.16e+03 seconds
Overshoot	8.17 %
Peak	1.08
Gain margin	Inf dB @ Inf rad/s
Phase margin	69 deg @ 0.000612 rad/s
Closed-loop stability	Stable

Рисунок 3.24 – Отримані значення коефіцієнтів PID-регулятора

Таким чином у результаті моделювання приводу пальців захвату маніпулятора отримано параметри PID-регулятора та показники, що визначають якість системи регулювання. Враховуючи важливість моделювання системи керування та його результатів проведемо пояснення отриманих параметрів регулятора, згідно рисунку 3.24.

Перш за все було синтезовано PID-регулятор та його коефіцієнти склали:

P - пропорційний коефіцієнт - 0.0054776, цей параметр визначає величину коригування пропорційно до похибки. Невелике значення вказує на те, що система реагує м'яко на зміни похибки [30];

I - інтегральний коефіцієнт 3.2557e-06, визначає коригування на основі накопиченої похибки. Дуже мале значення вказує на повільне накопичення інтегральної дії, що може бути використано для усунення залишкової похибки (статичної похибки) без суттєвого впливу на стабільність;

D - диференціальний коефіцієнт: -0.83904, визначає коригування на основі швидкості зміни похибки.

Наряду із коефіцієнтами, синтезованого PID-регулятора важливими характеристиками отримані параметри, характеризують властивості системи регулювання захоплювача маніпулятора збору врожаю.

N - фільтраційний коефіцієнт - 0.0010537, використовується для зменшення шуму у диференціальній складовій. Низьке значення вказує на сильну фільтрацію, що може бути корисним для зменшення впливу високочастотного шуму.

Rise time -2510 секунд, це час, за який система набуває 90% потужності від свого кінцевого значення. Великий час підйому вказує на повільну реакцію системи.

Settling time 9160 секунд, час усталення системи. Довгий час усталення вказує на повільну стабілізацію системи.

Overshoot (Перерегулювання) 8.17%, перевищення кінцевого значення виходу системи над заданим значенням є помірним перерегулюванням, що вказує на те, що система має певний ступінь коливань перед усталенням.

Peak 1.08, максимальне значення виходу системи відносно до його кінцевого значення. Отримане значення 1.08 вказує на помірне перевищення.

Gain margin (Запас коефіцієнта підсилення) Inf dB @ Inf rad/s Безмежний запас підсилення вказує на дуже стабільну систему.

Closed-loop stability - Stable, що вказує на те, що система в замкненому контурі є стабільною.

Отримані значення параметрів ПІД-регулятора забезпечують стабільну роботу системи. Пропорційний коефіцієнт (P) забезпечує основну реакцію на похибку, інтегральний коефіцієнт (I) усуває залишкову похибку, а диференціальний коефіцієнт (D) допомагає зменшити коливання [28].

Довгий час підйому та усталення свідчать про те, що система реагує повільно. Це може бути прийнятним в деяких застосуваннях, але якщо потрібно швидше реагування, слід налаштувати параметри регулятора відповідно.

Перерегулювання в 8.17% вказує на те, що система має помірні коливання перед усталенням. Це може бути допустимим залежно від вимог до системи.

Запаси коефіцієнта підсилення та фазового зсуву вказують на високу стійкість системи до змін параметрів або зовнішніх збурень.

Результати показують, що система є стабільною з налаштованими параметрами ПД-регулятора, але має повільний час реакції. Якщо потрібне швидше реагування або менше перерегулювання, слід виконати додаткове налаштування параметрів регулятора. Параметри можуть бути налаштовані вручну або за допомогою інструментів автоматичної оптимізації в MATLAB/Simulink, таких як PID Tuner.

Висновки до третього розділу

1. Застосування конструкцій маніпулятора і захоплювача і допоміжного устаткування для впровадження до виробничих циклів агропромислових підприємств відкритого ґрунту та теплиць потребує їх виконання у пиле - водо захищеному варіанті, що дозволяє досягти високого рівня автономності, продуктивності та довговічності. Одним із прикладів і можливих способів створення та розробки таких зразків і простих способів їх виготовлення є 3D моделювання та 3D друк, що демонструють запропоновані узагальнені приклади 3D моделей.

2. Узагальнені кінематичні схеми та моделі маніпулятора з трьома ланками просторового переміщення механізму орієнтації захоплювача та сформована модель матричного добутку у однорідних координатах дозволяє ставити та розв'язувати задачі просторового руху плоду та овочів при переміщеннях у процесі збору врожаю.

3. Розроблена конструкція захоплювача з гнучкими пальцями та м'якими еластичними елементами разом із електричним приводом і тросиковим приводом забезпечує принцип затискання проторового об'єкту, побудована модель дає опис перехідних процесів руху пальців у вигляді передатної функції роботи приводів даної системи та у аналітичному виді для системи керування приводом пальців у структурі захоплювача мобільного робота

4. Побудована модель приводу руху пальців захоплювача у середовищі Matlab інструментами Simulink є інструментом практичного моделювання та вибору сервоприводу і корекції параметрів за результатами, отриманими в процесі розробки, аналізу та моделювання схеми, що відповідає моделі двигуна постійного струму – основного конструктивного елементу сервоприводу. Отримані результати являють собою взаємозалежності змінних параметрів, таких як величина струму на обмотці якоря двигуна та величина напруги в залежності до зовнішнього навантаження при нормальному та реверсивному режимі роботи двигуна постійного струму.

5. Розроблена модель, дозволяє синтезувати параметри PID-регулятора системи автоматизованого управління сервоприводу на основі проведеного дослідження у Matlab інструментами Simulink, що дозволяє коригувати параметри та динамічні характеристики системи за допомогою PID-регулятора, який обробляє дані отримані від блоку, що симулює навантаження здійснене зміною кутової швидкості та інерції тяги приєднаної до механічної частини двигуна. Значення, отримані при розрахунку коефіцієнтів PID-регулятора, дозволять здійснити аналіз елементів автоматизованої системи управління перед фізичним створенням даної системи, що дозволить зменшити час та кількість проблем, що можуть виникати при створенні даної системи.

4 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА З ОХОРОНИ ПРАЦІ.

4.1 Нормативна документація щодо забезпечення охорони праці під час використання екранними пристроями

Існують розклади які оператори повинні зберігати в період використання електронно-обчислювальних машин. Дотримання наданих правил понизить можливі наслідки несприятливої дії в напрямок операторів шкідливих чи небезпечних факторів, що можуть відбутись у час взаємодії із електронно-обчислювальними машинами. З початку, це належить до серцево-судинних захворювань, зорових та нервово-емоційних перевантажень і психічної складової працівників.

У правилах охорони праці на період експлуатації електронно-обчислювальних машин подані гігієнічні та ергономічні необхідності до робочих приміщень та робочих місць, параметрів робочого середовища, і під час дотримання всіх зазначених правил, надає змогу уникнути погіршення стану здоров'я працівника.

Відповідальність за дотримання правил покладається на фізичних осіб, посадових осіб, які займаються підприємницькою діяльністю та здійснюють використання електронно-обчислювальних машин в адміністративних і промислових приміщеннях.

Державний санітарний догляд за дотримання усіх цих правил установами, підприємствами, державними органами, організаціями не дивлячись на форми власності, а також фізичними особами, що займаються підприємницькою діяльністю, покладається на органи та установи санітарно – епідеміологічного профілю Міністерства охорони здоров'я, України, відповідні установи, організації, частини та підрозділи Міністерства оборони України, закони України (ст. 31 Закону України «Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення») [50].

Вимоги до приміщень з екранними пристроями

Приміщення, у яких оператори працюють із персональними комп'ютерами, повинні відповідати низці визначених вимог. Контроль за їх дотриманням здійснюють спеціальні служби, що відповідають за охорону праці на підприємствах. Окремі положення з діючих нормативних документів щодо безпеки таких приміщень наведено нижче:

- будівлі та приміщення, призначені для роботи з електронно-обчислювальними машинами, мають бути спроектовані згідно з вимогами ДСанПіН 3.3.2.007-98 [39];
- забороняється розміщувати робочі місця з відеодисплейними терміналами або персональними ЕОМ у підвалах та на цокольних поверхах;
- для кожного робочого місця повинна бути передбачена площа не менше 6 м² і об'єм приміщення не менше 20 м³;
- Освітлення приміщень повинно бути як природним, так і штучним відповідно до ДБН В.2.5-28-2006 [40];
- природне освітлення має надходити через вікна, орієнтовані переважно на північ чи північний схід, з коефіцієнтом природної освітленості не нижче 1,5 %;
- виробничі приміщення повинні бути обладнані шафами для зберігання документів та носіїв інформації, стелажми й іншими меблями з урахуванням норм щодо площі;
- у приміщеннях з електронно-обчислювальними машинами щодня має проводитися вологе прибирання;
- приміщення з електронно-обчислювальними машинами обов'язковою мають бути наявні аптечки для надання першої медичної допомоги;
- підприємства з комп'ютеризованими робочими місцями повинні передбачити побутові приміщення для відпочинку під час роботи та кімнати

психологічного розвантаження, обладнані засобами для приготування тонізуючих напоїв і місцями для фізичних вправ (ДБН В.2.2-28:2010) [41].

Вимоги до безпеки робочих місць працівників з екранними пристроями визначає і наказує Міністерство соціальної політики України, наказом «Про затвердження Вимог щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями» на стан 18 травня 2018 року [32]:

- місця праці працівників з екранними пристроями повинні бути спроектовані так образом, щоб мати достатній простір для зміни робочого положення;
- всі випромінювання екранних пристроїв повинні бути зведені до гранично припустимого рівня з точки зору безпеки і охорони здоров'я працівників;
- конструкція та розташування елементів працівника з екранними пристроями зобов'язана забезпечувати відповідність всіх елементів місця праці та їх розташування психофізіологічним, ергономічним, антропологічними вимогам, а також відповідність до характеру виконуваних робіт;
- освітлення робочого місця працівника з екранними пристроями зобов'язано створювати належний контраст між екраном й навколишнім середовищем (з урахуванням виду роботи) і відповідати вимогам ДСанПІН 3.3.2.007-98 [39];
- мікроклімат виробничих приміщень з робочими місцями працівників з екранними пристроями має підтримуватися на постійному рівні, що відповідає вимогам Санітарних норм мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99 [42];
- робочий стіл чи робоча поверхня мають бути достатнього розміру і поверхню з низькою відбивною здатністю, допускати гнучкість при розміщенні документів, клавіатури, екрана і відповідного обладнання;

- робоче крісло має бути стійким і міцним, ергономічним, дозволяти працівникові з використанням екранними пристроями рухатися легко і займати зручне положення. Саме сидіння повинне регулюватися по висоті, а спинка сидіння повинна регулюватися не тільки по висоті, а і по нахилу;
- слід передбачати підставку для тих працівників, кому це необхідно для зручності на робочому місці.

Крім тих загальних вимог, що повинні дотримуватися усі робочі місця підприємства, також є правила електробезпеки. Нижче надано частину вимог із документу про правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальної машини, розділ 2, пункт 2.3 – Вимоги електробезпеки [3]:

- під час встановлення електрообладнання необхідно запобігти виникненню ризику займання від короткого замикання або перевантаження електромережі.;
- у приміщеннях, де одночасно працюють більше п'яти комп'ютерів, обов'язково має бути встановлений аварійний вимикач електроживлення;
- електропроводка для розеток, що живлять комп'ютери та інше обладнання, повинна бути прокладена в спеціальних каналах, при цьому використання легкозаймистих матеріалів у цих каналах категорично заборонено.

Також є вимоги та певні критерії до виробничого приміщення, а саме щодо параметрів освітлення, шуму та вібрації, мікроклімату, рівні електромагнітного та іонізуючого випромінювання. Ці вимоги необхідні для мінімізації шкідливого впливу факторів робочого середовища на здоров'я працівників під час праці.

У виробничих приміщеннях на кожному робочому місці з персональними комп'ютерами в обов'язковому порядку мають забезпечуватися та підтримуватись оптимальні значення параметрів мікроклімату, а саме

температури відносної вологості й рухливості повітря (ГОСТ 12.1.005-88, СН 4088-86) [43, 44] (табл. 1).

Таблиця 4.1 – Норми клімату для приміщень з технікою

Пора року	Категорія робіт	Температура повітря, °С	Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодна	1а	22-24	40-60	<0,1
	1б	21-23		0,1
Тепла	1а	23-25	40-60	0,1
	1б	22-24		0,2

Категорія робіт 1а охоплює діяльність, що виконується сидячи та не потребує фізичного напруження. До категорії 1б належать роботи, що виконуються сидячи, стоячи або супроводжуються ходінням та передбачають певне фізичне навантаження.

Штучне освітлення у приміщеннях із робочими місцями, де використовуються відеодисплейні термінали (ВДТ), повинно здійснюватися за допомогою системи загального рівномірного освітлення. У випадках роботи з документацією у виробничих або адміністративних приміщеннях дозволяється застосування комбінованого освітлення.

Рівень освітленості на робочій поверхні столу має бути в межах 300–500 люкс. Якщо забезпечити необхідний рівень загальним освітленням неможливо, допускається використання місцевого освітлення. При цьому місцеві світильники потрібно розташовувати таким чином, щоб уникати відблисків на екрані, а яскравість освітлення екрану персонального комп'ютера не повинна перевищувати 300 люкс.

Для штучного освітлення у таких приміщеннях рекомендується застосовувати люмінесцентні лампи типу ЛБ. У разі використання відбитого

освітлення у виробничих та адміністративних приміщеннях допускається застосування метало-галогенних ламп потужністю 250 Вт.

У світильниках місцевого освітлення допускається застосування ламп розжарювання.

Інтенсивність інфрачервоного випромінювання у виробничих приміщеннях не повинна перевищувати гранично допустимих значень, встановлених Санітарними нормами мікроклімату виробничих приміщень, які зазначені у ДСН 3.3.6.042-99 [42].

Інтенсивність ультрафіолетового випромінювання має відповідати допустимим нормам, визначеним у СН 4557-88 [46].

Потужність експозиційної дози рентгенівського випромінювання на відстані 0,05 м від екрана та корпусу електронно-обчислювальної машини не повинна перевищувати 0,1 мбер/рік (100мкР/рік).

Вимоги до роботи з екранними пристроями

На сьогодні існує низка вимог, обов'язкових для виконання працівниками, чия основна діяльність пов'язана з використанням персональних комп'ютерів. Нижче наведено частину вимог з наказу Міністерством соціальної політики України «Про затвердження Вимог щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями» на стан 18 травня 2018 року [3]:

Мінімальні вимоги безпеки під час роботи з екранними пристроями:

- екран пристрою повинен очищатися від пилу та інших забруднень перед початком кожної робочої зміни;
- по завершенні роботи екранні пристрої необхідно відключати від електромережі;
- у разі виникнення аварійної ситуації екранний пристрій має бути негайно знеструмлений.

Не надається:

- проводити технічне обслуговування, ремонт або налагодження екранних пристроїв безпосередньо на робочому місці працівника при роботі із екранними пристроями;
- відключати захисні пристрої, самостійно вносити зміни у складі та конструкції і налаштування екранних пристроїв чи їх технічне налагодження;
- працювати з екранними пристроями, під час роботи в яких з'являються нестабільне зображення на екрані, нехарактерні сигнали та інші несправності;
- під час виконання робіт із операторським типом, пов'язаних із нервово-емоційним напруженням, у приміщеннях для роботи з екранними пристроями, на пультах керування і постах керування технологічними процесами і в інших приміщеннях повинні дотримуватися оптимальні умови мікроклімату відповідно до вимог ДСН 3.3.6.042-99 [42].

Мінімальні вимоги безпеки до екранних пристроїв:

- екранні пристрої не повинні бути джерелом ризику для працівників.
- всі випромінювання, за винятком видимої частини електромагнітного спектра (за винятком видимого світла), повинні бути зведені до безпечного рівня з точки зору безпеки і охорони здоров'я працівників.
- символи які знаходяться на екранних пристроях мають бути чіткими, достатнього розміру. Між рядками символів і символами повинна бути належна відстань.
- зображення на екрані мають бути стабільними, без різних видів нестабільності (спалахів або інших).
- яскравість та контрастність символів повинно легко регулюватися персоналом при роботі з екранними пристроями, а також бути в стані швидко адаптуватися до умов навколишнього середовища.
- обираючи екрани, потрібно віддавати перевагу таким типам екранів, що вільно і легко повертаються та нахиляються у відповідності із потреб працівника.

- за потреби передбачено використання спеціальних підставок або регульованих столів для правильного розміщення екрану.
- екран не повинен створювати відблисків або віддзеркалень, які можуть спричинити зоровий дискомфорт під час роботи з екранними пристроями.
- обираючи клавіатуру, слід віддавати перевагу такій клавіатурі, яка відкидається і є автономною (відокремленої від екрана, автономна), для того, щоб працівник був в стані обрати комфортну позу для праці і уникнути втоми рук (кисті і верхньої частини рук).
- поверхня клавіатури має бути матовою, для запобігання відблискам. Розташування клавіш та конструкція самих клавіш повинні полегшувати роботу із клавіатурою. Маркування клавіш зобов'язане бути розбірливим та контрастним.
- під час розробки, замовленні, виборі та модифікації програмного забезпечення, а також при розробці завдань, що передбачають користування обладнанням з екранними пристроями, роботодавець зобов'язан керуватися таким програмним забезпеченням, яке відповідає завданням і є простим у використанні, а де необхідно, адаптованим, до рівня підготовки та досвіду працівника.

Вимоги щодо режиму відпочинку та праці в місцях з екранними пристроями

При організації трудового процесу, пов'язаного з використанням електронних пристроїв, з метою збереження здоров'я операторів, профілактики професійних захворювань та підтримання працездатності передбачається впровадження внутрішньо-змінних регламентованих перерв для відпочинку.

Режими праці та відпочинку мають містити додаткові короткотривалі перерви протягом зміни, які запобігатимуть виникненню як об'єктивних, так і суб'єктивних ознак втоми та зниження продуктивності праці.

У випадку виконання робіт, що належать до різних видів діяльності, основною вважається та, що пов'язана з використанням відеодисплейних терміналів (ВДТ), що займає не менше 50% робочого часу. Під час робочої зміни повинно передбачатися:

- перерви для відпочинку та прийому їжі;
- перерви для відпочинку та задоволення особистих потреб відповідно до норм трудового законодавства;
- додаткові регламентовані перерви з урахуванням особливостей виконуваної діяльності.

Правила встановлюють внутрішньо змінні режими праці та відпочинку під час робіт з електронними пристроями при стандартній денній 8-годинній робочій зміні у залежності від характеру трудової діяльності. Для звичайних операторів, які працюють з електронними пристроями, при використанні електронними пристроями необхідно призначити регламентовану перерву для відпочинку тривалістю 15 хвилин через кожну годину роботи за персональним комп'ютером. Тим, хто працюють за комп'ютером, потрібно робити перерву для відпочинку кожну годину або дві під час робочого дня тривалістю від 10 до 15 хвилин. У тих випадках, коли обставини не дозволяють дотримуватися регламентованої перерви, тривалість безперервної праці з електронними пристроями не повинна перевищувати 4 години.

При 12-годинній зміні регламентовані перерви організовуються за такою схемою: упродовж перших 8 годин — згідно з режимом, аналогічним для 8-годинної зміни; упродовж останніх 4 годин незалежно від виду виконуваної роботи — після кожної години роботи встановлюється перерва тривалістю 15 хвилин.

Забруднення повітря на робочих місцях з використанням екранних пристроїв

Досить значна кількість досліджень присвячена аналізу хімічного складу повітря в робочих приміщеннях операторів відеодисплейних терміналів (ВДТ).

Встановлено, що до завершення робочого дня концентрація вуглекислого газу (CO_2) у повітрі робочої зони значно підвищується, досягаючи 0,12–0,19 %, тоді як у природному атмосферному повітрі цей показник становить приблизно 0,03 %. Таке зростання рівня CO_2 свідчить про необхідність ефективного повітрообміну.

Особливу небезпеку для здоров'я працівників становить підвищена концентрація озону — високотоксичного та подразнюючого газу. Озон включено до переліку речовин, гранично допустимі концентрації яких у повітрі робочої зони суворо нормуються. Високий рівень небезпеки цього газу зумовлений його приналежністю до так званих радіоміметичних речовин — хімічних сполук, які викликають у біологічних тканинах зміни, подібні до наслідків дії іонізуючого випромінювання. Відповідно, озон класифікується не лише як подразнююча, а й як потенційно канцерогенна речовина.

Основними джерелами озону в комп'ютеризованих робочих зонах залишаються електронно-променеві трубки (ЕПТ) ВДТ та лазерні принтери. Для зниження впливу озону рекомендується вимикати ВДТ у періоди, коли вони не використовуються, а лазерні принтери розташовувати на відстані від робочих місць операторів.

Водночас основним засобом забезпечення безпеки повітряного середовища є організація ефективної припливно-витяжної вентиляції. При цьому необхідно створювати надлишковий тиск у приміщеннях з ВДТ для запобігання проникненню забрудненого повітря з інших зон.

Відповідно до ГОСТ 12.1.005-88[43] вміст озону в повітрі робочої зони не повинен перевищувати 0,1 мг/м³; вміст оксидів азоту - 5 мг/м³; вміст пилу — 4 мг/м³.

Виробничий шум та вібрація

Шум є несприятливим чинником виробничого середовища, що впливає на слуховий аналізатор людини, а також на функціональний стан інших органів і систем. Величина цього впливу залежить від інтенсивності шуму, його

частотного складу, тривалості щоденного впливу, індивідуальних особливостей працівника, а також специфіки виконуваної трудової діяльності.

Нормативні рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні шуму та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях, обладнаних відеодисплейними терміналами (ВДТ) і персональними комп'ютерами (ПК), визначаються положеннями ДСанПіН 3.3.2-007-98 [39].

До основних заходів і засобів боротьби з шумом відносяться:

- зниження рівнів шуму безпосередньо у джерелі його утворення (як правило, на етапі проектування обладнання);
- використання звуко-поглинаючих та звукоізолюючих засобів та конструкцій;
- раціональне планування виробничих приміщень та організація робочих місць..

У комп'ютеризованих робочих зонах основними джерелами шуму є вентилятори системних блоків, накопичувальні пристрої та принтери ударної дії. Для зменшення шумового навантаження рекомендується розміщувати принтери ударної дії (матричні, шрифтові тощо) в окремих приміщеннях або ізолювати їх за допомогою спеціальних звукоізолюючих екранів.

Варто враховувати, що зовнішні шуми (вулиця, суміжні приміщення) також здатні негативно впливати та погіршувати функціональний стан операторів ВДТ. З цією метою, доцільним є облицювання стін приміщень в яких розташовані комп'ютеризовані робочі місця. Бажано облицювати звукопоглинаючими матеріалами. Однак доцільність їх застосування повинна бути обґрунтована та базуватися спеціальними інженерно-акустичними розрахунками. Звукопоглинаюче облицювання стін (а іноді і стелі) необхідно здійснювати матеріалами, що мають максимально високий коефіцієнт звукопоглинання в діапазоні частот 31,5-8000 Гц і дозволені для оздоблення приміщень органами державного санітарно-епідеміологічного нагляду.

Для зменшення вібраційного впливу технічне обладнання, механізми, пристрої, пристосування необхідно встановлювати чи монтувати на спеціальні амортизуючі прокладки, передбачені нормативними вимогами і документами.

Заходи пожежної безпеки

Приміщення, у якому організовується робота з комп'ютерною технікою, повинно відповідати чинним санітарно-гігієнічним нормам і вимогам техніки безпеки. Зокрема, необхідно враховувати нормативи щодо рівня освітленості, параметрів мікроклімату (температура, відносна вологість повітря), допустимих рівнів шуму та вібрації, пожежної стійкості будівельних конструкцій, а також характеристик електромагнітних, ультрафіолетових та інфрачервоних полів.

Однією з найбільш суттєвих небезпек у приміщеннях із комп'ютерною технікою є ризик виникнення пожежі, що несе загрозу як здоров'ю працівників, так і значним матеріальним цінностям. Аналіз основних причин пожеж у таких приміщеннях свідчить, що серед найпоширеніших чинників слід відзначити:

- необережне поводження з вогнем;
- незадовільний технічний стан електротехнічних пристроїв та порушення правил їх монтажу і експлуатації;
- порушення технологічних режимів під час виконання технологічних процесів;
- використання несправних або застарілих опалювальних приладів та порушення правил їх використання;
- ігнорування вимог чинних нормативних документів з питань пожежної безпеки.

На робочому місці, де використовується комп'ютерна техніка, потенційними джерелами займання можуть стати: перевантаження електричних мереж, короткі замикання, порушення правил експлуатації електроприладів.

Для запобігання виникненню пожеж рекомендується створити такі умови попередження пожеж: курити лише у спеціально відведених місцях, вчасна профілактика та ремонт електроприладів, технічний огляд за режимом роботи нагрівальних приладів та електроприладів, стежити за технічною справністю первинних засобів пожежогасіння (вогнегасників).

В якості профілактичних заходів за для забезпечення пожежної безпеки потрібно використовувати приховану електромережу, надійні розетки виготовлені із пожежобезпечних матеріалів, силові мережі живлення

устаткування виконувати силовими кабелями, розрахованими на підключення в 3-5 разів більшого навантаження, включати й виключати живлення обладнання лише за допомогою штатних вимикачів. Треба регулярно здійснювати очищення внутрішніх частин комп'ютерів, комп'ютерної техніки й периферійного обладнання від пилу та бруду. Для запобігання іскріння необхідно уникати частого вставляння та виймання штепсельних вилок із розеток [49].

Електромагнітні поля

Електромагнітні поля, що утворюються при роботі комп'ютерної техніки (особливо низькочастотні), чинять негативний вплив на організм людини, у першу чергу на центральну нервову систему. За даними, вплив електромагнітних полів може спричиняти головний біль, запаморочення, нудоту, депресивні стани, розлади сну, втрату апетиту, хронічний стрес досліджень [38].

Нервова система реагує навіть на короткочасний, за тривалістю, вплив слабких полів: змінюється гормональний стан організму та порушуються біоелектричні процеси мозку. У результаті підвищується ризик погіршення зору, ускладнення серцево-судинних захворювань, зниження імунітету.

Рекомендації по захисту:

- віддавати перевагу сучасним електронним пристроям з мінімальною випромінюваною потужністю та низькими рівнями електромагнітного поля;
- місце відпочинку потрібно достатнє його видалення від побутових приладів випромінюючих досить великий рівень магнітного поля, деякі типи підлог з електричним підігрівом, нагрівачі, телевізори, зарядні пристрої та блоки живлення;
- розташовувати прилади на оптимальній відстані один від одного, не розміщувати їх безпосередньо поруч з місцем відпочинку.

4.2 Вимоги щодо забезпечення охорони праці під час роботи в теплицях

Використання безлюдних технологій у зелених фермах істотно змінює характер і ризики праці, однак не усуває необхідності глибокого аналізу виробничих умов, безпечної взаємодії людини з технікою, а також забезпечення контролю за середовищем теплиць.

Особливості повітря в просторі теплиць

Робота в теплицях має низку особливостей, які обумовлюють необхідність дотримання підвищених вимог до мікроклімату, освітлення, вентиляції та організації робочого простору. Згідно з чинними нормами, температура повітря в теплиці має залишатися в межах 18–28 °С для культурного середовища, однак тривале перебування людей за температур понад 26 °С потребує періодичного відпочинку в охолоджених зонах. При розробці автоматизованих систем важливо враховувати той факт, що навіть обслуговування роботів здійснюється у цих же умовах, тому необхідно забезпечити доступність усіх елементів системи для оперативного ремонту без порушення мікроклімату.

Підвищена вологість повітря, яка може досягати 90–95 %, сприяє розвитку грибків, мікроорганізмів, а також призводить до корозії металевих частин обладнання. Для персоналу це створює додаткове бактеріологічне та алергенне навантаження, особливо при контакті зі свіжими рослинами та вологою ґрунтовою сумішшю. Відповідно, оператори мають бути забезпечені засобами індивідуального захисту: водонепроникним одягом, масками, рукавичками, а також періодичними профілактичними медичними оглядами.

Не менш значущим є ризик хімічного забруднення повітря — в теплицях широко застосовуються добрива, засоби захисту рослин, які можуть накопичуватися в повітрі. При роботі з ними працівники повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту (респіраторами, рукавицями), а також необхідне використання вентиляційних систем для видалення парів і аерозолів.

Іншою характерною небезпекою є ризик електротравматизму, що зумовлено наявністю електроживлення вологого середовища. Усі електроустановки в теплиці повинні мати захист від вологи (ступінь захисту не менше IP65), заземлення та пристрої захисного відключення. Регулярна перевірка технічного стану кабельних ліній, автоматизованих систем та систем управління має проводитися сертифікованим персоналом.

Використання технологій в умовах теплиць

У контексті використання безлюдних технологій необхідно передбачити зони обмеженого доступу до ділянок, де здійснюється робота роботів або автономних візків. Системи навігації повинні включати датчики виявлення перешкод, а самі пристрої — мати аварійні кнопки зупинки та функції безпечного завершення роботи в разі виникнення позаштатної ситуації. Надання інформації про місцезнаходження і статус роботизованої техніки в режимі реального часу має бути доступним через централізовану систему моніторингу.

Під час проєктування та експлуатації автономних роботів необхідно враховувати положення ДСТУ ISO 12100:2014 «Безпечність машин», ДСТУ EN 60204-1:2015 «Електрообладнання машин», а також ДСТУ EN ISO 10218-1:2014 «Роботи промислові. Вимоги до безпеки». Додатково повинні виконуватися вимоги законодавства щодо охорони праці України, зокрема Закон України «Про охорону праці», накази та методичні рекомендації Держпраці.

Профілактика професійних ризиків у теплицях також передбачає проведення регулярного навчання персоналу з правил техніки безпеки, інструктажів перед початком роботи та ознайомлення з маршрутами евакуації. Усі працівники повинні мати доступ до аптечок першої допомоги та засобів зв'язку для виклику допомоги в разі надзвичайної ситуації.

При впровадженні автоматизованої системи з мобільною платформою та маніпулятором важливо запобігти випадковому контакту людини з рухомими частинами. Навіть за наявності автономного режиму, працівники можуть знаходитись у тій самій теплиці одночасно з роботом. У зв'язку з цим у

конструкцію АСК повинні бути інтегровані апаратні та програмні засоби безпеки: датчики присутності, автоматичне зниження швидкості при наближенні до людини, аварійні кнопки зупинки, обмеження на зусилля маніпулятора тощо.

Джерела живлення, які використовуються для забезпечення роботи АСК, повинні відповідати вимогам електробезпеки. У переважній більшості застосовуються системи на базі постійного струму з напругою до 48 В, що є безпечною межею. Проте зарядні станції або мережеві блоки живлення, що підключаються до змінного струму 220 В, мають бути розташовані поза межами вологої зони, з надійною ізоляцією, заземленням і захисним автоматичним відключенням у разі пробоя.

У перспективі необхідно забезпечити систему моніторингу технічного стану АСК, яка через IoT-модулі дозволить оператору отримувати повідомлення про потенційні збої або аварії, що виникли в роботі системи. Також рекомендується проводити регулярне навчання персоналу щодо правил безпечної експлуатації та взаємодії з роботизованими системами, оскільки навіть найкраще налаштований автономний пристрій залишається елементом підвищеної небезпеки в умовах складного середовища.

Висновки до четвертого розділу

1. Під час аналізу умов праці з системою дистанційного контролю збору врожаю та використанням електронних пристроїв встановлено, що дотримання мінімальних вимог безпеки є ключовим фактором для збереження здоров'я працівника та забезпечення надійної роботи обладнання. Ці вимоги включають щоденне очищення екранних пристроїв перед початком роботи, відключення їх від електричної мережі після завершення роботи та негайне відключення у разі аварійної ситуації. Особливу увагу слід приділяти технічному стану екранних пристроїв. Зображення на екрані має бути стабільним, без миготінь чи спотворень. Усі види випромінювання, окрім видимої частини спектра, мають бути зведені до безпечного рівня для працівника. Пристрої повинні дозволяти зручне регулювання яскравості та контрастності символів відповідно до умов освітлення приміщення. Поверхня екранів має бути матовою або обробленою таким чином, щоб запобігти появі відблисків, які можуть викликати зорову втоми чи дискомфорт.

2. Мінімальними вимогами до безпеки під час роботи з екранними пристроями: необхідно щоденно очищати екранні пристрої від пилу та інших забруднень перед початком роботи, після завершення роботи екранні пристрої потрібно вимикати від мережі електричного живлення. У разі виникнення аварійної ситуації необхідно терміново вимкнути пристрій з електричної мережі.

3. Все випромінювання, крім видимої частини електромагнітного спектра, повинно бути мінімізовано з точки зору безпеки та охорони здоров'я працівників. Зображення на екрані повинно бути стійким, без миготінь або нестабільності. Яскравість та контрастність символів повинні бути легко регульованими працівником під час використання екранних пристроїв і швидко адаптуватися до зовнішніх умов. Екрани не повинні відблискувати або відбивати світло, що може спричиняти дискомфорт працівникам під час користування ними.

4. У процесі впровадження безлюдних технологій у сфері аграрного виробництва особливу увагу необхідно приділяти питанням охорони праці, адже автоматизовані та роботизовані системи функціонують у середовищі, де також можуть перебувати оператори, технічний персонал та інженери обслуговування. Особливу актуальність ці питання мають у контексті роботи робототехнічних комплексів у закритих агроєкосистемах, таких як теплиці.

5. Для забезпечення безпеки та захисту здоров'я оператора в приміщенні необхідно дотримуватися низки певних правил: не вимикати захисні пристрої; уникати обслуговування, ремонту та налагодження екранних пристроїв безпосередньо на робочому місці працівника, коли він з ними працює; утримуватися від самовільних змін у конструкції та складі екранних пристроїв; не працювати з екранними пристроями, які виявляють нехарактерні сигнали, нестабільне зображення на екрані або інші несправності. Головна мета цих правил полягає в запобіганні будь-яким можливим ризикам для здоров'я та життя працівника.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання дипломної роботи:

1. Розвиток автоматизованих систем збору врожаю засобами безлюдних технологій повинен здійснюватися шляхом інтеграції засобів мобільних робото-технічних систем, систем відео спостереження, керування через мобільні застосунки та дротові і бездротові мережі, а також через розвиток середовищ створення ефективних засобів користувацького інтерфейсу, що забезпечить орієнтованість на конкретні види плодів, наявність одного типу приводів, здатність до заміни захоплювачів, при одночасній мінімізації пошкодження плодів.

2. Розроблена структури АСК зелених ферм є прикладом імплементації безлюдних технологій в умовах зелених ферм і включає: сенсорну підсистему сприйняття середовища; систему прийняття рішень на основі алгоритмів штучного інтелекту аналізу зображень; систему виконавчих пристроїв, яка включає мобільну платформу, бортовий робот із захоплювачем; систему бездротового зв'язку та моніторингу; інтерфейс користувача для контролю та налаштування параметрів їх роботи.

3. Застосування конструкцій маніпулятора і захоплювача і допоміжного устаткування для впровадження до виробничих циклів агропромислових підприємств відкритого ґрунту та теплиць потребує їх виконання у пиле - водо захищеному варіанті, що дозволяє досягти високого рівня автономності, продуктивності та довговічності. Одним із прикладів і можливих способів створення та розробки таких зразків і простих способів їх виготовлення є 3D моделювання та 3D друк, що демонструють запропоновані узагальнені приклади 3D моделей.

4. Узагальнені кінематичні схеми та моделі маніпулятора з трьома ланками просторового переміщення механізму орієнтації захоплювача та сформована модель матричного добутку у однорідних координатах дозволяє

ставити та розв'язувати задачі просторового руху при переміщеннях у процесі збору врожаю.

5. Розроблена конструкція захоплювача з гнучкими пальцями та м'якими еластичними елементами разом із електричним приводом і тросиковим приводом забезпечує принцип затискання просторового об'єкту, побудована модель дає опис перехідних процесів руху пальців у вигляді передатної функції роботи приводів даної системи та у аналітичному виді для системи керування приводом пальців у структурі захоплювача мобільного робота, що здатні до швидкої заміни інтегруватися до складу роботів на борту мобільних робототехнічних систем.

6. Побудована модель приводу руху пальців захоплювача у середовищі Matlab інструментами Simulink є інструментом практичного моделювання та синтезу параметрів PID-регулятора, вибору і корекції параметрів за результатами розробки, аналізу та моделювання схеми, що відповідає моделі двигуна постійного струму і являють собою взаємозалежності величин струму на обмотці двигуна та напруги і зовнішнього навантаження при нормальному та реверсивному режимах роботи.

7. Для забезпечення безпеки та захисту здоров'я оператора в приміщенні необхідно дотримуватися низки певних правил: не вимикати захисні пристрої; уникати обслуговування, ремонту та налагодження екранних пристроїв безпосередньо на робочому місці працівника, коли він з ними працює; утримуватися від самовільних змін у конструкції та складі екранних пристроїв; не працювати з екранними пристроями, які виявляють нехарактерні сигнали, нестабільне зображення на екрані або інші несправності. Головна мета цих правил полягає в запобіганні будь-яким можливим ризикам для здоров'я та життя працівника.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Трет'як А.В., А.М. Кльон.: ОСНОВИ РОБОТОТЕХНІКИ — К., 2024. — 135 с.
2. Droukas, L., Doulgeri, Z., Tsakiridis, N. L., et al. (2022). A Survey of Robotic Harvesting Systems and Enabling Technologies. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 105(1), 1–25. [arXiv](#) [SpringerLink](#)
3. Bechar, A., & Vigneault, C. (2016). Agricultural robots for field operations: Concepts and components. *Biosystems Engineering*, 149, 94–111. [MDPI](#)
4. Bac, C. W., Hemming, J., & van Henten, E. J. (2014). Harvesting robots for high-value crops: State-of-the-art review and challenges ahead. *Journal of Field Robotics*, 31(6), 888–911. [Wageningen University & Research](#)
5. Gonzalez-de-Santos, P., Ribeiro, A., Fernandez-Quintanilla, C., et al. (2017). Highlights and preliminary results for autonomous crop protection. *Computers and Electronics in Agriculture*, 139, 126–138.
6. Van Henten, E. J., Hemming, J., Van Tuijl, B. A. J., et al. (2002). An autonomous robot for harvesting cucumbers in greenhouses. *Autonomous Robots*, 13(3), 241–258. [SpringerLink](#)
7. Arad, B., Ben-Shahar, O., & Keren, D. (2020). Detecting ripe fruits in orchards using deep learning. *Computers and Electronics in Agriculture*, 174, 105457.
8. Ловеїкін В. С., Ромасевич Ю. О. Динаміка машин. Київ : Компринт, 2020. 240 с.
9. Пат. на корисну модель 118655 Україна, МПК (2006.01) A01G25/02. Пристрій для збору врожаю / Т. М. Маслова. № и 2019; заявл. 05.06.2019; опубл. 11.11.2019, Бюл. № 4/2019. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1258990/> (дата звернення: 25.08.2024).
10. Пат. на корисну модель 14/591,960 United States, МПК (2006.01) A01G25/02. Автоматизоване управління поливом система / S. A. Bermudez Rodriguez, H. F. Hamann, L. Klein, F. J. Marianno. № US 2016/0202679 A1; заявл.

Jan. (6) 8, 2015; опубл. Jul. (7), 14, 2016. URL: <https://patents.google.com/patent/US20160202679A1/en> (дата звернення: 16.06.2024).

11. Ashish Upadhyay, Prem Kumar, Ravikant Yadav. Automatic Irrigation Systems With SCADA: A Future Prospective, October 13, 2015 – P. 92.
12. Hyman, Anthony. Charles Babbage: Pioneer of the computer. – Oxford University Press, 2016.
13. John Boxall – Arduino Workshop, 2nd Edition: A Hands-on Introduction with 65 Projects – No Starch Press; – LAP LAMBERT Academic Publishing – May 27, 2021 – P. 432.
14. Corney J. The Next and Last Industrial Revolution? / J. Corney // Assembly Automation. – 2005. – P. 257.
15. El-Hagarey Mohamed – Innovative Automatic Self-Compensating Gated Irrigation Pipes – LAP Lambert Academic Publishing – May 18, 2015 – P. 88.
16. Robert Kourik. Drip Irrigation for Every Landscape and All Climates, 2nd Edition – Metamorphic Press – May 5, 2009 – P. 184.
17. Джурка Г.Ф., Полімерні композиційні матеріали - Полтава, 2008 – 58 с.
18. Ткачук О.П. Сільськогосподарська Екологія / Ткачук О.П., Шкатула Ю.М., Тітаренко О.М.. – Вінниця, 2020. – 542 с.
19. Mel Bartholomew. All New Square Foot Gardening – Cool Springs Press – 2006 – P. 272
20. Ткачук О.П. Сільськогосподарська Екологія / Ткачук О.П., Шкатула Ю.М., Тітаренко О.М.. – Вінниця, 2020. – 542 с.
21. Струтинський В.Б., Гуржій А.М. : Монографія. – Житомир: ПП «Рута», 2023 . – 524 с.
22. Трунов О. М., Николаев О.Л. Захватное устройство. Авторське Свідотство СРСР, А.с. №1473943, 1988, с.6.

23. Кондратенко Ю. П., Трунов А. Н. Захват робота. // А. с. № 677908, СССР; Опубл. БИ № 29, 1979.
24. Кондратенко Ю.П., Ткаченко А. Н., Трунов А.Н. Захват манипулятора. // А. с. № 766857, СССР; Опубл. БИ № 36, 1980.
25. Кондратенко Ю.П., Трунов А.Н. Захват промышленного робота. // А. с. № 831610, СССР; Опубл. БИ № 19, 1981.
26. Трунов О. М. Отчет по х.д. теме N 909 Уран-1. Николаев : НКИ, 1988. 103 с.
27. Beom Geun Ki, Yong-Jai Park Soft Gripper With Movable Variable Stiffness Mechanism and Embedded Soft Sensors for Adaptive Grasping Strategies. March 2025. IEEE Robotics and Automation Letters PP(99):1-8. DOI: 10.1109/LRA.2025. 3534058.
28. Трунов О. М., Митрохін В.О. Формування конструктивних особливостей захвату маніпулятора збирання врожаю. Тези МНТК «Ольвійський форум». Миколаїв. 2025
29. Яхно О.М., Узунів О.В., Луговський О.Ф. та ін. Прикладна гідроаеромеханіка і механотроніка: підручник. Вінниця: ВНТУ, 2017. 711 с.
30. Wang L. PID Control System Design and Automatic Tuning using MATLAB, Simulink. – Wiley-IEEE Press – April 20, 2020 – P. 368
31. Законодавство України про охорону праці: Збірник нормативних документів у 4 т. К.: Держнаглядохоронпраці; Основа, 2006 р
32. Про затвердження Вимог щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями: URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0508-18>. (дата звернення: 19.11.2024).
33. Про затвердження Правил охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин: URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0382-99>. (дата звернення: 19.11.2024).
34. ДСТУ 2293-99 Охорона праці. Терміни та визначення основних понять. Київ 1999 р.

35. Москальова В. М. Основи охорони праці. Підручник. Київ: ВД Професіонал, 2005. 666 с.
36. Гандзюк М. П., Желібо Е. П., Халімовський М. О. Основи охорони праці / За ред.. Гандзюка М. П. К.: Каравела 2003 405 с.
37. Ткачук К. Н., Халімовський М. О., Зацарний В.В., та інші. Основи охорони праці: Підручник. К.: Основа, 2006. 444 с.
38. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. Підручник. Львів: УАД, 2006. 336 с.
39. Державні санітарні правила і норми роботи з ВДТ ЕОМ ДСанПІН 3.3.2.007-98 URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=2445>. (дата звернення: 11.08.2022).
40. ДБН В.2.5-28-2006 Природне і штучне освітлення: URL: http://interiorfor.com/wp-content/uploads/2017/01/Zm2_DBN-V.2.5-28-2006_uk.pdf. (дата звернення: 19.11.2024).
41. ДБН В.2.2-28:2010 Адміністративні і побутові будівлі URL : <https://armis.com.ua/blog/library/dbn/196-dbn-v-2-2-28-2010>. (дата звернення: 19.11.2024).
42. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень: URL: https://dnaop.com/html/34094/doc_-ДСН_3.3.6.042-99. (дата звернення: 19.11.2024).
43. ГОСТ 12.1.005-88.ССБП: URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200003608>. (дата звернення: 19.11.2024).
44. СН 4088-86. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень URL: <http://docs.cntd.ru/document/901710059>. (дата звернення: 19.11.2024).
45. Санітарно-гігієнічні норми №2152-80: URL: https://dnaop.com/html/2296/doc_-ГН_2152-80. (дата звернення: 19.11.2024).
46. СН 4557-88. Санітарні норми ультрафіолетового випромінювання URL: https://dnaop.com/html/2299/doc_-СН_4557-88. (дата звернення: 19.11.2024).

47. СН 3044-84. Санітарні норми вібрації робочих: URL: https://dnaop.com/html/43248/doc_-ДНАОП_3044-84 - Загол. з екрану.

48. ГОСТ 12.1.012-90. Вібраційна безпека. Загальні вимоги: URL: https://dnaop.com/html/1602/doc_-ГОСТ_12.1.012-90. (дата звернення: 19.11.2024).

49. Правила пожежної безпеки в Україні, затверджених наказом МНС України від 19.10.2004 № 126, зареєстрованих в Міністерстві юстиції України 4.11.2004 за № 1410/10009 (НАПБ А.01.001 -04).

50. Про затвердження санітарного та епідемічного благополуччя населення: URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/4004-12>. (дата звернення: 19.11.2024).

ДОДАТОК А

Лістинг коду програми мікроконтролера

```
#include <Wire.h>
#include <RTCLib.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

RTC_DS3231 rtc;
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

// Встановлений час активації (24-годинний формат)
const int presetHour = 18;
const int presetMinute = 30;

// Встановлене розташування (значення, що очікується від ESP8266)
String presetLocation = "ZoneA";
String currentLocation = "";

bool taskCompleted = false;
bool motorActivated = false;

const int motorPin1 = 13;
const int motorPin2 = 12;

void setup() {
  Serial.begin(9600);    // Debug console
  Serial1.begin(9600);   // CAN RS232 контролер
  Serial2.begin(9600);   // розташування модулю зору
  Serial3.begin(9600);   // ESP8266 Wi-Fi модуль

  Wire.begin();          // I2C init
  rtc.begin();
  lcd.begin();
  lcd.backlight();

  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("System Starting");
  delay(2000);
  lcd.clear();
```

```

}

void loop() {
    DateTime now = rtc.now();
    readESP8266Location();    // Оновлення поточного місцезнаходження
    receiveVisualCommands();  // Місце для введення візуальних даних

    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print(now.timestamp(DateTime::TIMESTAMP_TIME));

    if (!taskCompleted && now.hour() == presetHour && now.minute() ==
    presetMinute) {
        if (currentLocation == presetLocation) {
            activateMotor();
        } else {
            lcd.setCursor(0, 1);
            lcd.print("Невідповідність розташування");
            Serial.println("Невідповідність розташування, двигун не активовано.");
        }
    }

    delay(1000); // Оновлення щосекунди
}

void activateMotor() {
    if (!motorActivated) {
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("Мотор активовано");
        Serial.println("Мотор активовано.");

        // Передача команд до контролера CAN RS232
        Serial1.println("ACTIVATE_MOTOR");
        // Оновлення статусів
        motorActivated = true;
        taskCompleted = true;
    }
}

    if (!motorActivated && !motorReversed && now.hour() ==
    autoActivationTime.hour() && now.minute() == autoActivationTime.minute()) {

```

```
    activateMotor();
}

if (motorActivated && !motorReversed) {
    DateTime current = rtc.now();
    TimeSpan elapsedTime = current - motorStartTime;
    if (elapsedTime >= TimeSpan(0, 30, 0)) {
        reverseMotor();
    }
}

delay(500);
}

void activateMotor() {
    if (!motorActivated) {
        digitalWrite(motorPin1, HIGH);
        digitalWrite(motorPin2, LOW);
        motorActivated = true;
        motorReversed = false;
        motorStartTime = rtc.now();
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("Motor: ON ");
    } else {
        digitalWrite(motorPin1, LOW);
        digitalWrite(motorPin2, LOW);
        motorActivated = false;
        motorReversed = false;
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("Motor: OFF");
    }
}

void reverseMotor() {
    if (motorActivated && !motorReversed) {
        digitalWrite(motorPin1, LOW);
        digitalWrite(motorPin2, HIGH);
        motorReversed = true;
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("Motor: REVERSE");
    }
}
```

```
}
```

```
// Отримання поточного місцезнаходження від ESP8266
```

```
void readESP8266Location() {  
  while (Serial3.available()) {  
    char c = Serial3.read();  
    if (c == '\n') {  
      currentLocation.trim();  
      Serial.print("Місцезнаходження від ESP8266: ");  
      Serial.println(currentLocation);  
      lcd.setCursor(0, 1);  
      lcd.print(currentLocation + "      ");  
      return;  
    }  
    currentLocation += c;  
  }  
}
```

```
// Розміщення для модуля візуального сприйняття (Serial2)
```

```
void receiveVisualCommands() {  
  while (Serial2.available()) {  
    char c = Serial2.read();  
  }  
}
```